

Treball de Fi de Grau/Màster

Enginyeria en Tecnologies Industrials

Implementació de cicles de conducció a un banc dinamomètric

MEMÒRIA

Autor: Isaac Bages Vila
Director: Jesús Andrés Álvarez Florez
Convocatòria: Gener 2020



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

En aquest projecte es condiona el dinamòmetre de xassís del Laboratori de Màquines Tèrmiques del departament de Motors i Màquines Tèrmiques (MMT) de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (ETSEIB) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) per permetre emular cicles de conducció en un vehicle. Per a fer-ho s'ha condicionat la instal·lació i s'ha desenvolupat un codi en llenguatge Matlab® capaç d'interpretar els senyals provinents del dinamòmetre i representar-ne la velocitat del vehicle a temps real. Juntament s'hi projecta un rang de toleràncies d'un cicle de conducció definit prèviament perquè l'encarregat de la simulació pugui ajustar-se a les velocitats imposades.

D'altra banda, els cicles de conducció per a simular rutes sobre un vehicle de carretera, mitjançant un dinamòmetre de xassís, poden no oferir resultats representatius o extrapolables a la realitat si no es segueix un procediment estandarditzat o no es consideren totes les variables que poden influir, tant en l'elaboració del cicle de conducció, com en el procediment d'aplicació. Aquest projecte proporciona informació sobre la metodologia d'elaboració de cicles de conducció representatius i la seva aplicació en un dinamòmetre de xassís.

Sumari

SUMARI	4
1. PREFACI	7
1.1. Motivació	7
1.2. Requeriments previs	8
2. INTRODUCCIÓ	9
2.1. Objectius del projecte.....	9
2.2. Abast del projecte	9
3. CICLES DE CONDUCCIÓ	11
4. PROCEDIMENT I METODOLOGIA PER AL DESENVOLUPAMENT DE CICLES DE CONDUCCIÓ	13
4.1. Metodologia	15
4.1.1. Selecció de la ruta.....	15
4.1.2. Recol·lecció de dades	16
4.1.3. Construcció del cicle	18
4.1.4. Avaluació del cicle.....	20
4.1.5. Consideracions	21
5. PROCEDIMENT D'APLICACIÓ D'UN CICLE DE CONDUCCIÓ.	23
5.1. Mètode de la interpolació de CO ₂	24
5.2. Selecció del vehicle.....	27
5.3. Interpolació/extrapolació del rang. Error comès.....	27
5.4. Massa del vehicle testejat.....	27
5.5. Modes d'operació especials: dinamòmetre i desacceleració.....	28
5.6. Pneumàtics	29
5.7. Factors de càrrega predeterminats.....	30
5.8. Càrrega de carretera i de dinamòmetre.....	30
5.8.1. Requeriments generals	30
5.8.2. Selecció del vehicle.....	31
5.8.3. Força de drag.....	31
5.8.4. Preparació del vehicle	31

5.8.5.	Escalfament del vehicle.....	32
5.8.6.	Procediments de mesura	32
5.8.7.	Preparació del dinamòmetre de xassís	35
5.8.8.	Simulació de cicles de conducció en el dinamòmetre de xassís	38
5.8.9.	Vehicle de test.....	39
5.8.10.	Precondicionament del vehicle.....	40
5.8.11.	Transmissions.....	40
5.8.12.	Test.....	41
5.8.13.	Procediments post procés.....	42
6.	LABORATORI DE MÀQUINES TÈRMIQUES	43
6.1.	Buggy.....	43
6.2.	Banc dinamomètric	44
6.3.	Sistema d'adquisició de dades	47
6.4.	Computador	49
6.5.	Condicionament de la instal·lació	49
6.6.	Descripció del sistema	49
6.7.	Procediment d'operació	51
6.8.	Software.....	52
6.9.	Post-procés.....	61
6.10.	Software d'estudi	61
7.	DESENVOLUPAMENT D'UN CICLE DE REFERÈNCIA AL LABORATORI	62
8.	AVALUACIÓ MEDIAMBIENTAL	64
8.1.	Emissions vehicles.....	64
8.2.	Reciclatge dels aparells electrònics	65
9.	AVALUACIÓ ECONÒMICA	66
	CONCLUSIONS	68
	AGRAÏMENTS	69
	BIBLIOGRAFIA	70
	Referències bibliogràfiques	70

Bibliografia complementària	71
-----------------------------------	----

1. Prefaci

1.1. Motivació

Hi ha molts elements en un laboratori que requereixen una dedicació de temps especial per a posar-los a punt, configurar-los i entendre'ls per a utilitzar correctament. Moltes vegades, aquests aparells, malgrat ser funcionals i molt rellevants, queden aturats o abandonats degut a la falta de temps.

En aquest projecte, amb la col·laboració del professor Jesús Álvarez, s'ha volgut habilitar el banc de rodets del Laboratori de Màquines Tèrmiques de l'ETSEIB. Aquest banc de rodets, o dinamòmetre de xassís, és molt útil per a estudiar el comportament dels vehicles en situacions de conducció normals o en situacions de conducció teòriques de certes característiques imposades a partir de cicles de conducció en un entorn controlat com és el laboratori..

Els objectius de les simulacions amb cicles de conducció actualment són molt variats, des de la possibilitat d'homologar els vehicles de forma eficaç en matèria d'emissions fins estudiar el comportament del trànsit i gestionar les infraestructures. També s'usen per a efectuar la senyalització d'una regió o amb finalitats de recerca i objectius d'investigació, que serà la finalitat d'aquest projecte. Un exemple pràctic podria consistir en situar vehicles o motors en el dinamòmetre i reproduir un cicle mentre es fan lectures de les forces en els sistemes de transmissió, es llegeix el consum de combustible o es determina la potència transmesa als pneumàtics, entre d'altres.

Les opcions són molt variades, però totes, aporten coneixement d'alt nivell sobre el camp a estudiar. És per això que molts són els interessats en la recerca d'aquesta àrea i dels procediments d'aplicació per ser el més significatius possibles.

Amb aquesta motivació s'inicia el projecte que dotarà d'una eina d'alt valor al Laboratori de Màquines Tèrmiques de l'ETSEIB per a realitzar investigació.

També es pretén donar llum al mètode del desenvolupament de cicles de conducció i la seva implementació en bancs dinamomètrics per ser el més eficaços possible. Un àmbit poc abordat per la literatura tècnica catalana i espanyola.

1.2. Requeriments previs

En aquest projecte s'utilitza un banc dinamomètric o dinamòmetre de xassís i un sistema d'adquisició de dades per a la implementació de cicles de conducció mitjançant el software registrat Matlab®.

2. Introducció

2.1. Objectius del projecte

L'objectiu d'aquest Treball de Final de Grau és aportar, al Laboratori de Màquines Tèrmiques de l'ETSEIB, una eina d'estudi per a vehicles de combustió tal que permeti simular, al laboratori, conduccions reals de carretera o circuits teòrics, a partir de cicles de conducció pre-programats.

Amb aquesta finalitat, s'adaptaran els sistemes pertinents i es desenvoluparà un software que permeti visualitzar un cicle de conducció enregistrat prèviament, juntament amb la velocitat, a temps real, d'un vehicle situat sobre d'un banc de proves. D'aquesta manera el conductor podrà resseguir el cicle de conducció que desitgi permetent-se estudiar el comportament del vehicle sota determinades circumstàncies en l'entorn controlat del laboratori.

Es documentarà l'eina desenvolupada i els sistemes emprats per aplicar-ho al camp de la recerca i obtenir dades d'alt nivell per a la caracterització dels vehicles de combustió al laboratori.

Per tal de fer un ús conscient de l'eina, en aquest projecte també es pretén descriure la metodologia i el procediment per a la elaboració dels cicles de conducció. Es tractaran de descriure aspectes com la selecció de la ruta, l'enregistrament de dades i la generació de cicles de conducció a partir de dades mostrejades. A més a més, en el present, el lector pot trobar informació sobre les condicions de reproducció dels cicles de conducció en un dinamòmetre de xassís, com el que es disposa, de forma que es permeti simular les condicions de conducció de la forma més fidedigna possible.

2.2. Abast del projecte

En aquest projecte es condicionaran els sistemes del Laboratori de Màquines Tèrmiques de l'ETSEIB que permetran emular qualsevol cicle de conducció sobre un vehicle. Per a fer-ho, es realitzaran les configuracions pertinents dels aparells i es desenvoluparà una eina en llenguatge Matlab capaç de processar i visualitzar les velocitats a temps real

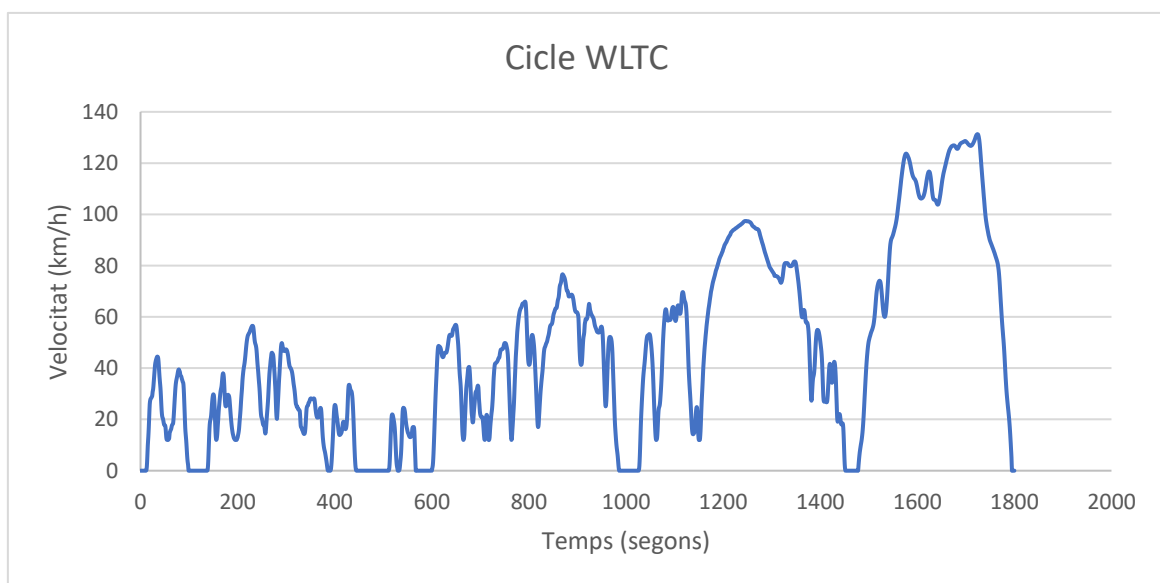
llegides al dinamòmetre de xassís mentre es representen simultàniament els cicles de conducció preestablerts desitjats. Queda fora de l'abast d'aquest projecte realitzar un estudi sobre els parells transmesos pel vehicle al banc de rodets i tractar els valors de coeficients de càrrega de carretera per configurar el dinamòmetre. Per tant, l'estudi que es realitza en aquest treball és merament cinemàtic.

A més a més, i a mode de documentació, aquest projecte pretén descriure els procediments bàsics, estàndards i sistemàtics a seguir per desenvolupar un cicle de conducció representatiu de les característiques de conducció en carretera d'una regió concreta i la seva implementació en un dinamòmetre de xassís. El càlculs i paràmetres pertinents a qualsevol cicle de conducció en concret queden fora de l'àmbit d'aquest projecte, on s'hi descriuen els procediments principals i les consideracions que s'han de tenir en compte a l'hora de realitzar una simulació de conducció controlada al laboratori.

3. Cicles de conducció

Ja sigui per motius d'homologació o per motius d'investigació i desenvolupament de producte o anàlisis de laboratori, és interessant veure com, un vehicle, respondria sota determinades condicions de circulació. Aquestes condicions, difícilment es poden recrear en una pista, ja que no és un entorn controlat, com ho és una habitació on es poden instal·lar equips molt sofisticats i controlar les condicions ambientals. A més a més, la traça de la pista és molt poc versàtil ja que sempre és constant.

Les rutes que es voldrien simular en un vehicle es poden enregistrar com una sèrie de valors seqüencials de velocitats de forma que en conjunt descriuen la ruta que haurà de recrear el vehicle en el que s'anomena un cicle de conducció. D'aquesta manera, també hi queden implícites les acceleracions i desplaçaments.



Imatge 1: Cicle de conducció WLTC¹. Elaboració pròpia. Dades extretes de [2]

Com s'observa a la Imatge 1, un cicle de conducció es pot expressar com una gràfica de la velocitat a cada instant respecte del temps.

¹ World Harmonized Light-duty Vehicles Test Cycle

Els cicles de conducció són àmpliament utilitzats per les administracions a l'hora d'homologar vehicles. A partir d'un cicle estàndard es poden contrastar les emissions dels vehicles i establir valors referencials d'emissions. Els cicles de conducció són una de les eines principals per fer models d'estimació d'emissions.

Existeixen molts tipus cicles de conducció en funció del que es desitja estudiar i la tipologia de vehicle (vehicles lleugers, furgonetes, camions, autobusos, motocicletes, etc.) i es poden diferenciar en dos grups segons la seva finalitat [1]:

1. Cicles legislatius. Són de caràcter regional (estatal, interestatal), pel qual es controlen les emissions de contaminació provinents dels motors de combustió.
2. Cicles no legislatius. Utilitzats per analitzar el consum de combustible, emissions i comportaments dels vehicles en condicions de circulació per carretera a l'interior d'un laboratori per a finalitats de recerca.

Els cicles de conducció poden incorporar series de valors que simulin diferents situacions: com trànsit fluït, congestionat o una mescla d'ambdues situacions. També s'hi poden representar trams de ciutat, carretera o combinacions d'ambdues segons el tipus de vies pel qual es desitja provar el vehicle.[1]

Fins a l'any 2009, el Laboratori d'investigació del Transport (TRL per les seves sigles en anglès, Transport Research Laboratory), amb seu a Anglaterra, presentà un total de 256 cicles de conducció reconeguts. Entre els que es troben els cicles d'homologació europeus (*EU legislative cycles*) i americans (*US cycles*), sent aquests dos els cicles referents en l'homologació de vehicles arreu del món.[2]

4. Procediment i metodologia per al desenvolupament de cicles de conducció

Els cicles de conducció que en moltes ocasions intenten reproduir les característiques de conducció d'una regió determinada, no són fruit de suposicions o de l'atzar. Per tal d'obtenir un cicle, que sigui representatiu d'una sèrie de característiques, i per tant, els resultats que s'obtinguin a l'aplicar-lo siguin significatius de la realitat, s'ha de realitzar un estudi detallat i rigorós de l'entorn a simular. En aquest apartat es descriurà el procediment estàndard que és recomanable seguir per obtenir cicles de conducció representatius de la realitat. És el procediment estàndard proposat pel departament d'enginyeria civil de la *Universitat de Moratuwa, Sri Lanka* i adoptat pels principals organismes reguladors [3].

La importància de desenvolupar cicles de conducció representatius d'àrees concretes ha anat prenent força durant els darrers anys, ja que les administracions han dedicat molts esforços per desenvolupar una gran quantitat de models amb l'objectiu d'estimar les emissions i els consums de combustibles dels vehicles de carretera. Aquests models serveixen per fer aproximacions sobre les emissions globals d'un parc de vehicles o per tenir coneixement sobre la mobilitat dels vehicles. Existeixen principalment dos tipus de models estimatius: models basats en trajecte i models basats en combustible.

Els cicles de conducció són un dels models basats en trajecte més estès i generalitzat per estimar les emissions dels vehicles. Aquest tipus de models poden ser utilitzats per avaluar el compliment d'estàndards d'emissions, gestió del trànsit i determinar el temps dels desplaçaments entre dos punts. A més a més, el fet de conèixer un model de les emissions del transport permet desenvolupar i implementar mesures efectives del control i de reducció dels efectes.

Anteriorment, s'havien intentat implementar cicles de conducció basats en estudis teòrics però aquests poden diferir en molts aspectes de la realitat en funció de l'entorn estudiat.

L'estudi de les emissions del transport va començar l'any 1970, als EE.UU., des de l'establiment de la *Clean Air Act* (CAA) i les seves esmenes dels anys 1977 i 1990 [1].

El sistema actual d'estimació d'emissions està format per una gran quantitat de models, desenvolupats per diferents agències, que tracten d'estimar i predir el transport d'emissions a diferents nivells (macroscòpic, mesoscòpic i microscòpic).

Per una banda, els models basats en el combustible utilitzen les dades de combustible proporcionades per bases de dades d'impostos del trànsit amb l'objectiu d'estimar les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH), determinats segons els factors d'emissió específics de cada vehicle expressats en grams per unitat de combustible consumit. Els models basats en el combustible s'utilitzen per a conèixer el flux de tràfic i les emissions pertinents.

Els factors d'emissió dels vehicles es poden obtenir en un laboratori utilitzant un dinamòmetre amb sensors capaços de fer lectures d'emissions, per exemple, per mitjà d'un dispositiu RSD (*Remote Sensing Devices*). El model més típic basat en el consum del combustible es el *Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport* (COPERT) desenvolupat per la *European Environment Agency* (EEA) l'any 1985 amb l'objectiu d'estimar les emissions del transport de carretera². El software també és àmpliament utilitzat pel sector de l'energia per determinar la relació entre el combustible consumit i les emissions.

Per altra banda, els models basats en la distància, combinen els factors d'emissió dels vehicles de determinades regions amb les dades de recorreguts realitzats per vehicles de la mateixa regió per generar un inventari d'emissions per estimar el combustible consumit. Aquest tipus de models són els emprats per a recrear cicles de conducció. Per a fer-ho és necessari realitzar una recopilació de dades per identificar les característiques temporals i de l'entorn de les rutes o regions a estudiar. Els patrons de conducció també poden ser estimats emprant aquest tipus de model, ja que aquests, influeixen directament en les emissions i consum de combustible. Aquest mètode sol ser més econòmic que el model basat en el consum de combustible.

² El software, per al sistema operatiu Windows, permet estimar les emissions totals d'una regió determinada i contrastar-les amb un històric per a diferents categories de vehicle (de passatgers, lleugers, pesats, motocicletes...) de diferents contaminants (CO, NOx, VOC, PM, NH3, SO2, metalls pesats) i GEH (CO2, N2O, CH4).[11]

Els cicles de conducció són emprats per a la gestió del trànsit, estimacions de les emissions i del combustible consumit. Per a estimar el combustible consumit i les emissions, els vehicles són testejats emprant dinamòmetres de xassís i cicles de conducció estandarditzats.

Els cicles de conducció es poden obtenir a partir dos principis. Els *Transient Driving Cycles*, que es basen en dades reals recollides directament de les rutes que es desitgen estudiar i els cicles poligonals i modals, on es genera un recorregut a partir d'un software alimentat de fragments de dades recollides. El software pot utilitzar diferents mètodes estadístics de predicció i estimació per generar el cicle [3].

4.1. Metodologia

El procediment per a desenvolupar un cicle de conducció segueix el següent esquema: selecció de la ruta, recollida de dades, construcció del cicle i avaluació del cicle [5].

Les tècniques per la construcció dels cicles són variades en funció del temps de que es disposa i dels recursos i la informació disponible. Per tant, les conclusions d'un estudi poden ser molt variades. Si més no, a continuació es tractarà de descriure la metodologia estàndard i que tots els investigadors haurien de seguir per generar cicles de conducció.

4.1.1. Selecció de la ruta

La selecció de la ruta es un dels aspectes més importants a l'hora de generar un cicle de conducció. Les rutes seleccionades han de ser suficientment representatives del comportament de la xarxa de trànsit de l'àrea a estudiar. Les dades han de ser parcials. La selecció de la ruta hauria de representar el millor possible les condicions actuals del flux del trànsit que són afectades per les condicions espacials i temporals com: el tipus de sòl, el tipus de carretera, la topografia, la disponibilitat de les vies i la senyalització de les interseccions i densitat de població de l'àrea. A més a més, és essencial seleccionar rutes que tinguin contemplin els gradients de pendent el millor possible ja que, el pendent de la carretera té un impacte molt significatiu en el consum de combustible i les emissions en els vehicles. També és important considerar les condicions climàtiques a les rutes seleccionades, ja que els cicles poden necessitar-se aplicar a diversos països o regions, com és el cas del WLTC, que s'aplica a nivell europeu i global. Altres factors a considerar a l'hora de seleccionar la ruta són: la rugositat de la carretera, l'altitud i la temperatura

ambiental, que també afecten a la quantitat d'emissions. És necessari, per tant, determinar uns factors de correlació i assignar una ponderació als factors descrits per representar-ne la rellevància respecte als objectius a estudiar i així eliminar les diferències particulars de cada ruta. Per aquest motiu, la determinació d'un cicle de conducció conté una part de subjectivitat per part de l'investigador.

4.1.2. Recol·lecció de dades

La recol·lecció de dades té un paper vital en el la qualitat del cicle de conducció perquè els resultats aniran directament relacionats amb la tolerància, representativitat, homogeneïtat i consistència de les dades recol·lectades. La literatura sobre cicles de conducció contempla dos mètodes per a la recol·lecció de dades: el mètode de persecució d'un vehicle o els mesuraments a bord, que es descriuran a continuació. Finalment un tercer mètode combina els dos models anteriors conegut com a model híbrid.

És important considerar la capacitat del motor del vehicle amb el que es realitza la recol·lecció de dades, ja que la seva potència farà variar el patró de conducció del vehicle; fet que podria provocar sota estimacions o sobre estimacions de les emissions o el consum de combustible.

4.1.2.1. Mètode de persecució de vehicle

Aquest és el mètode més habitual per a recol·lectar dades per desenvolupar els cicles de conducció arreu del món. En aquest mètode un vehicle instrumentat, capaç de mesurar dades de velocitat, segon a segon, d'altres vehicles, segueix un objectiu a través d'una ruta predeterminada per l'interior de la zona a estudiar enregistrant la seva velocitat cada segon.

Els conductors del vehicle instrumentat són els responsables de fer el seguiment dels vehicles objectius i de recol·lectar les dades curosament.

És difícil fer un seguiment dels vehicles objectiu quan el nivell de trànsit de les vies (LOS, *Level of service*) és baix. En aquest cas, les dades es poden recol·lectar en hores puntes però potser sobreestima el comportament del trànsit de la zona.

El principal avantatge d'aquest mètode és que requereixen menys recursos que el mètode de mesurament a bord, per tant, és més rentable. Contràriament, la major limitació del

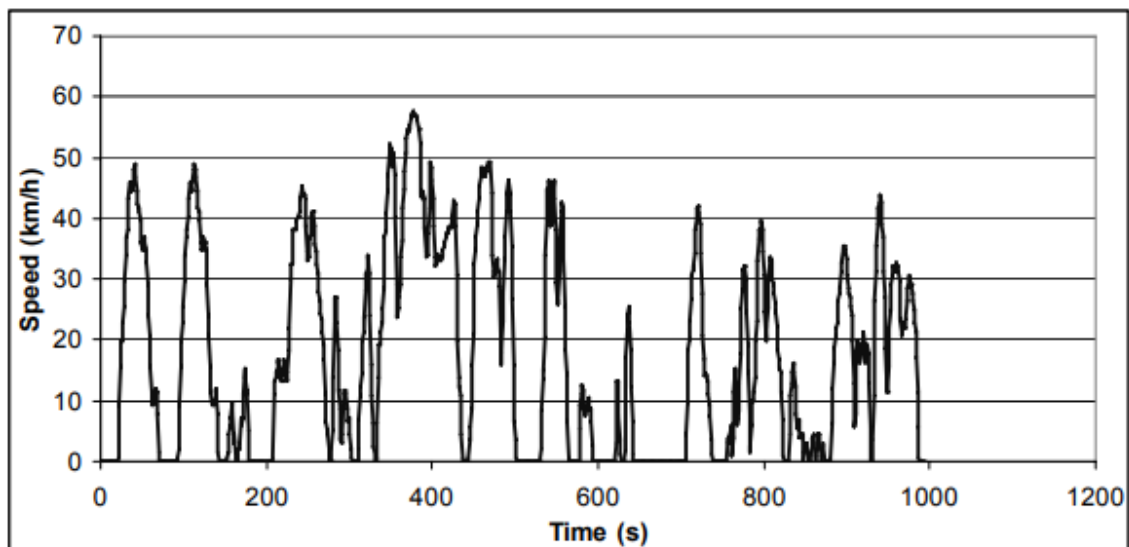
mètode és que, de vegades, és difícil analitzar vehicles amb conduccions agressives, ja que, és probable perdre el seguiment i augmenta la probabilitat de provocar accidents.

4.1.2.2. Mètode de mesurament a bord

En aquest cas, els instruments de mesurament estan instal·lats a bord d'un vehicle que circula per rutes establertes capturant segon a segon les dades de velocitat.

La major preocupació rau en el fet de seleccionar la ruta. Si es trien rutes aleatòries la quantitat de dades recollides pot augmentar considerablement. Per exemple, per desenvolupar el cicle ARTHEMIS (Imatge 2) es van utilitzar 77 vehicles durant 2200 hores de circulació a llarg de 2000 dies.

Aquest mètode no és utilitzat en molts països degut a la necessitat de tenir instrumentació molt especialitzada per monitoritzar al llarg de molt de temps el comportament dels vehicles equipats.



*Imatge 2. Cicle ARTHEMIS. Cicle desenvolupat en el marc del cinquè marc de referència europeu.
Font: [2]*

En alguns casos aquesta instrumentació per adquirir dades està formada per sensors apuntant als eixos de rotació del vehicle com és el cas dels sensors fotoelèctrics d'infrarojos, capaços de mesurar la rotació dels pneumàtics. També es pot combinar la informació amb la proporcionada per un sensor GPS.

És un mètode força útil per a països que tenen un patró de trànsit molt irregular o agressiu difícil d'enregistrar amb el mètode de persecució de vehicle. També és útil per a aquelles zones on els vehicles es concentren en zones molt determinades. Si més no, si les rutes no es seleccionen adequadament els resultats de l'estudi poden discernir dràsticament del comportament habitual del trànsit a la regió.

Per als països que tenen un comportament de trànsit mixt, és a dir, agressiu o congestionat i zones no congestionades (congestió de vies principals i carreters suburbanes descongestionades), es recomana una metodologia híbrida per optimitzar el cost de l'estudi mantenint la representativitat de les dades.

4.1.3. Construcció del cicle

L'estructura del cicle pot variar en funció de la seva finalitat, com pot ser analitzar les emissions i el consum de combustible o per gestió del trànsit. Cada metodologia de construcció de cicle tindrà característiques diferents.

Per a generar cicles que estimin el consum de combustible és important considerar començar a utilitzar el vehicle en fred, sobretot si la regió té un clima de baixes temperatures o neu. La temperatura és un paràmetre clau per a determinar les emissions i el consum de combustible, per tant és necessari monitoritzar-la.

Alguns cicles de conducció com els FTP-72 o FTP-75 estan recreats a partir de l'enregistrament directe d'un trajecte en concret, intentant seleccionar aquell que més s'adapta a les condicions estàndards de la zona. No obstant, aquestes condicions poden ser molt variades segons la carretera analitzada. La construcció de cicles per microdesplaçaments, pel mètode dels segment, per patrons o modals poden reduir substancialment les diferències entre el laboratori i la realitat.

4.1.3.1. Microdesplaçaments

S'anomenarà microdesplaçament a un desplaçament d'un vehicle entre dos punts de velocitat zero, vehicle aturat. En el microdesplaçament s'inclouen períodes de ralenti, acceleració, desacceleració i velocitats de creuer constants.

Segons aquesta metodologia, les dades enregistrades, es retallen en microdesplaçaments i es classifiquen segons les velocitats mitjanes. El cicle de conducció definitiu és format per diversos microdesplaçaments seleccionats segons el paràmetre objectiu que es desitgin obtenir. Per a la selecció dels microdesplaçaments existeixen dos mètodes: selecció aleatòria i mètode del millor increment. Alguns cicles utilitzen ambdues tècniques.

L'inconvenient d'aquest mètode és que no enregistra la duració de les parades, que afecta sobretot en zones amb baix LOS. Per tant, no es té constància de les parades que s'han efectuat, que solen anar relacionades amb un increment del combustible consumit degut a les operacions d'engegada i aturada. Els senyals de trànsit i les interseccions de la zona estudiada afecten dràsticament els consums de combustible i emissions ja que fan augmentar aquesta casuística.

4.1.3.2. Per segments

És un tipus de construcció del model semblant al de microdesplaçaments però s'afegeix a l'estudi el tipus de calçada i els temps en LOS. Habitualment s'utilitzen per a la gestió del tràfic i no per estimar emissions. La trajectòria enregistrada és retallada i classificada segons la ruta per la que circula el vehicle i les característiques físiques del traçat, i no pas pels moments de velocitat zero, per tant, també es tenen en compte els comportaments de les parades. Per a fer el cicle, és necessari igualar les velocitats entre dos segments consecutius. S'utilitza també per a classificar els desplaçaments d'autopistes en les que no hi ha parades.

4.1.3.3. Amb patrons

La ruta seleccionada és dividida en classes heterogènies a partir de mètodes estadístics segons variables enregistrades o estudiades. Els microdesplaçaments es disposen en el cicle de conducció de forma aleatòria segons les probabilitats de que esdevinguin a partir dels patrons enregistrats.

4.1.3.4. Modals

Els patrons de conducció es divideixen en acceleracions, desacceleracions, velocitats de creuer i ralentís. Per construir un cicle s'utilitza el mètode de Monte Carlo i les cadenes de Markov per assumir la probabilitat d'un determinat mode a esdevenir a partir d'un mode previ. El model de Markov i altres mètodes estocàstics descriuen el comportament del

trànsit i creen cicles de conducció representatius. Aquests mètodes seleccionen els patrons més probables de cicles de conducció per coincidir amb una distribució objectiu de freqüència de la velocitat – acceleració. El procés bàsic per a la elaboració de cel·les de conducció segons aquest procediment és el següent:

- 1) Les dades es recullen i es clusteritzen en fragments segons les acceleracions.
- 2) Els fragments s'assignen al modes utilitzant 1) a partir d'estadístics com les mitjanes, màxims i mínims de ratis de velocitats i acceleracions.
- 3) Es defineixen els modes segons els ratis d'acceleracions i velocitats per desenvolupar una matriu de transició que contingui les probabilitats de successió.
- 4) Usant Markov els fragments s'ordenen formant un cicle de conducció.

La limitació d'aquest mètode és que si el comportament del trànsit en una carretera és suau, la matriu de probabilitats presenta singularitats i és difícil de simular.

4.1.4. Avaluació del cicle

L'avaluació permet assegurar-se que el cicle desenvolupat representa els patrons de conducció reals de les carreteres de la regió estudiada. Habitualment es calculen els patrons de circulació generals de la zona a estudiar i es contrasten amb els del cicle obtingut i proposat. Per a fer-ho s'assigna un pes a les diferents variables per les que es caracteritza el cicle i es calculen les desviacions respecte de la realitat.

Els primers cicles desenvolupats, només tenien en compte alguns aspectes com la velocitat mitjana, màxima i mínima i el nombre de parades. Els cicles de conducció actuals contrasten molts més paràmetres com els màxims i mínims, proporcions de temps, mitjanes, desviacions estàndards, percentils i altres paràmetres específics com la mitjana quadràtica de l'acceleració, potencia del vehicle i acceleració positiva del moment cinètic; que són capaços de descriure més correctament les categories de les dades emmagatzemades.

Categoria	Paràmetre del trànsit
Màxims i mínims	Velocitats, acceleracions, desacceleracions
Percentatges	Temps d'aturada, temps d'acceleració, temps de desacceleració, temps de velocitat de creuer
Mitjanes i medianes	Mitjana de la velocitat, mitjana del temps en moviment, mitjana de l'acceleració i desacceleració, mitjana de temps de duració dels cicles, mitjanes del nombre d'acceleracions i desacceleracions en un període.
Desviacions estàndard i percentils	Desviació estàndard de la velocitat i acceleració, acceleracions del percentil 95, velocitats del percentil 95.
Altres paràmetres	Mitjana quadràtica de l'acceleració, energia cinètica positiva, SAPD i SAFD

Taula 1. A la taula es detallen els paràmetres més habituals emprats per a descriure les característiques d'un cicle de conducció Font [5].

SAPD o SAFD

La *Speed Acceleration Probability Distribution* (SAPD) o la *Speed Acceleration Frequency Distribution* (SAFD) són dues formes bastant comunes d'avaluar el cicle de conducció proposat. Es ploteja en una gràfica 3D l'acceleració vs la velocitat vs la probabilitat de que ocorrin i s'observa aquelles combinacions que millor descriuen el cicle. Habitualment les velocitats s'agrupen en intervals de 5k m/h i les acceleracions en grups d'1 km/h/s.

4.1.5. Consideracions

Quan es selecciona un mètode per generar un cicle de conducció s'han de considerar primerament dos aspectes no tècnics: el cost i el temps.

Per a desenvolupar-lo s'ha de seleccionar el mètode més adequat per optimitzar el procés. Cada mètode té les seves avantatges i inconvenients. No obstant, s'han de considerar tots els aspectes adequadament quan es selecciona un dels mètodes.

La ruta seleccionada és determinant per a una bona correlació entre el cicle de conducció i patró de trànsit habitual d'una regió. Si es seleccionen rutes complexes el temps d'adquisició de dades serà molt més alt. Si la informació per a la determinació de les rutes no és proporcionada per alguna entitat de trànsit s'haurà d'estudiar prèviament incrementant substancialment el cost de l'estudi.

Per a desenvolupar un cicle amb una alta correlació amb la realitat s'han d'utilitzar les tècniques proposades en els apartats anteriors (4.1.3.1, 4.1.3.2, 4.1.3.3, 4.1.3.4). Fins i tot, si es requereix un alt nivell de precisió, seria convenient realitzar enquestes per recollir dades referents a la mobilitat de vehicles com per exemple orígens i destinacions dels vehicles, nombre de vehicles, distància recorreguda i proporcions de tipus de vehicles. També s'han de recollir els paràmetres físics com la superfície de la carretera, nombre de carrils, nombre d'interseccions senyalitzades i l'ús de medianes.

Pel que fa la recol·lecció de dades, per a països amb pressupostos limitats, seria convenient utilitzar el mètode de persecució de vehicle tot i que pot ser menys representatiu si no es tenen prou dades. Per a països amb pressupostos més elevats o necessitats més precises sobre la informació del trànsit seria convenient utilitzar el mètode d'instrumentació a bord. Amb dades recol·lectades en diferents períodes del dia i diferents dies de la setmana.

La construcció del cicle condicionarà la quantitat de dades que es necessitaran. Ja que han de tenir una certa rellevància respecte el trànsit total de la regió.

Per a tenir una idea bastant representativa del comportament del trànsit es recomanables emprar els microdesplaçaments, el millor mètode si hi ha poques parades i la velocitat dels vehicles no és suau el millor mètode és el Modal. Si la conducció és suau és recomanable utilitzar el mètode de segments.

5. Procediment d'aplicació d'un cicle de conducció.

Molts fabricants d'automòbils, produeixen vehicles per clients d'arreu del món o si més no, per a moltes regions. Com que els vehicles no són iguals a tot el món, ja que s'adapten als gustos i a les condicions de vida de cada regió, el compliment de les normes d'emissions de cada país i els procediments d'aplicació dels mètodes d'homologació, crea grans càrregues des d'un punt de vista administratiu i de disseny de vehicle que moltes vegades s'acaben traslladant al cost final del producte. Els fabricants de vehicles, tenen un gran interès en l'harmonització dels requeriments de rendiment tests d'emissions de vehicles en la major escala possible. A més a més, la falta de definició d'un mètode operatiu a l'hora de regular les emissions, genera molta incertesa procedimental que acaba derivant en un abús de les toleràncies. És important definir un mètode de test, per a qualsevol cicle de conducció, ja sigui legislatiu o no legislatiu, que asseguri la uniformitat dels resultats i permeti contrastar-los entre vehicles.

A continuació es descriurà el procediment per dur a terme un test d'emissions amb els requeriments tècnics, les toleràncies i altres paràmetres relacionats, per a la homologació d'un vehicle en matèria d'emissions a la UE [6].

Procediment

Es té constància que hi ha una gran desviació entre les dades de consums reportades i informades pels tests actuals i els consums reals dels vehicles en condicions de circulació normals principalment produïdes per les flexibilitats que existeixen entre els actuals procediments de test de vehicles que permeten configurar el vehicle d'una forma més avantatjosa que la situació real en carretera. Per tant, a l'hora de simular un vehicle pel propòsit que sigui, és necessari definir unes condicions d'aplicació del test el més semblants a les condicions normals de conducció.

Es volen obtenir dades més reals i comparables tant a consumidors com legisladors. No obstant, ha de ser possible reproduir el procediment en un laboratori, per a qualsevol tipus de vehicle. Per aquest motiu també ha de ser prou flexible perquè sigui factible. Per tant s'haurà de contemplar en tot moment que el procediment compleixi els principis següents [6]:

- a) Repetibilitat: Si el test és repetit en les mateixes condicions al mateix laboratori, s'haurien d'obtenir resultats similars (amb certes toleràncies corresponents a errors de mesurament). Això vol dir, que les condicions inicials del test (com per exemple l'estat de càrrega de la bateria) han d'estar ben definides. Si algun paràmetre és difícil de mesurar, serà necessari definir les condicions inicials com el cas més desfavorable del valor que podria prendre en condicions normals de circulació. Una part de la representativitat del test és sacrificada per obtenir repetibilitat.
- b) Reproductibilitat: Si el test es produeix en les mateixes condicions en laboratoris diferents, el resultat hauria de ser similar (amb un cert error de toleràncies). Si els resultats dels tots els laboratoris del món han de ser comparables, s'han d'imposar restriccions en les condicions del test i l'ús d'instrumentació. Per exemple, la temperatura no pot ser seleccionada massa baixa ja que hi ha laboratoris en zones càlides.
- c) Cost - eficiència: Abastar totes les condicions de test i característiques de conducció requereixen de l'aplicació de molts tipus de test per saber l'impacte en el combustible consumit i les emissions. Els costos d'aquests tests són habitualment traslladats al PVP, per tant, és necessari ajustar les necessitats de test amb el cost. Per tant, una mica de representativitat del test haurà de ser compromesa per reduir el cost del test. Com és el cas del WLTC, on es reproduïxen les condicions de conducció reals d'arreu del món en només 30 minuts.
- d) Practicabilitat: El test ha de poder ser aplicat de forma pràctica, sense necessitar personal summament especialitzat ni equipament específic, per exemple, si el test requereix circular amb els pneumàtics desgastats fins a un cert nivell. Aquests aspectes tampoc serien rentables. També poden existir restriccions pràctiques del vehicle de prova com la monitorització de la temperatura del catalitzador, etc.

5.1. Mètode de la interpolació de CO₂

Un dels objectius claus del cicles de conducció és desenvolupar un test que representi les consums de combustible i les emissions CO₂ en condicions reals. És evident que no es poden testejar tots els vehicles que surten al mercat. Actualment, només es testeja un vehicle que representa a tot el model. No obstant, hi poden haver diferències entre els vehicles en termes de configuració que poden afectar a la massa, i les possibles

combinacions de pneumàtic/ roda i les variacions en perfil o la forma del vehicle, poden tenir un impacte notable en les emissions i consums finals. Per tant, és lògic pensar en desenvolupar un mètode que permeti obtenir valors de CO₂ atribuïbles a cada vehicle en particular.

Un test en un sol vehicle no proporciona informació prou representativa sobre un model. Com a mínim s'haurien de testear dos vehicles diferents de la mateixa classe per a determinar quines són les variacions d'emissions i de consum de combustible que es poden atribuir a les característiques intrínseques de la configuració del model. S'haurien de testear els vehicles del cas més desfavorable (H) i, preferiblement, el més favorable (L).

No existeix una correlació per a relacionar l'augment de CO₂ amb les diferències de massa, la força drag de l'aerodinàmica i la resistència al rodolament, entre d'altres. Per intentar ajustar les dades és raonable considerar que la massa com el factor més representatiu, si més no, amb els estudis realitzats es van obtenir errors força considerables degut a que hi ha elements que tenen una massa menyspreable però augmenten considerablement la força de drag o la resistència al rodolament, altament relacionats amb el consum de combustible d'un vehicle.

Finalment, es va determinar utilitzar l'energia necessària dels pneumàtics necessària per seguir un cicle determinat (considerant rendiments més o menys constants del motor). L'energia del cicle es la suma de les energies totals per a superar el total de la resistència del vehicle i l'energia cinètica de de l'acceleració definida com l'equació 1.

$$E_{\text{cicle}} = E_{\text{resistència}} + E_{\text{cinètica}} \quad (1)$$

$E_{\text{resistència}}$: força de les càrregues a la carretera³ multiplicada per la distància

$E_{\text{cinètica}}$: massa del vehicle de test multiplicada per l'acceleració i la distància.

Aquestes components de l'energia es sumen a cada segon del cicle per obtenir el total de l'energia del cicle demandada. Si l' E_{cicle} es negativa, es considera zero.

³ Càrregues de carretera: Definides com cada una de les forces que s'oposen al moviment del vehicle. Alguns exemples són la resistència al rodolament dels pneumàtics i resistència aerodinàmica de drag.

La força de resistència $F(v)$, corresponent a la càrrega de carretera s'expressa com un polinomi de segon ordre tal que: $F(v) = f_0 + f_1 \cdot v + f_2 \cdot v^2$ (2)

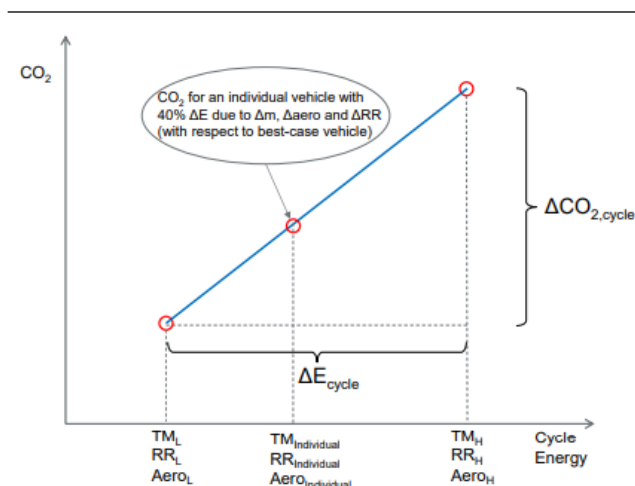
Els coeficients f són els coeficients de càrrega de carretera determinats segons una regressió del polinomi que defineix la càrrega en carretera.

Per a simplificar els càlculs es considera que:

1. L'energia cinètica és linealment dependent de la massa del vehicle.
2. f_0 correspon linealment a la força de rodolament dels pneumàtics i la massa del vehicle
3. f_1 no està correlacionat i és constant per als vehicle L i H
4. f_2 és lineal respecte al producte del coeficient de drag i l'àrea frontal del vehicle.

Per tant les diferències de CO_2 entre el vehicle L i H varien segons l'energia requerida durant el cicle. Les diferències entre la massa, coeficient de rodolament i la força de drag degut al tipus de vehicle queden representades segons els coeficients f .

Si els valors de la massa, resistència al rodolament i força de drag són coneguts per als vehicle L i H, les diferències de les energies del cicle (ΔE) poden ser calculades amb la interpolació.



Imatge 3. Exemple d'interpolació de les emissions de CO_2 de les càrregues de carretera rellevants per un model de vehicles estudiat

5.2. Selecció del vehicle

Per a l'execució del test és lògic pensar en emprar com a vehicle H aquell de més massa, més resistència al rodolament per part dels pneumàtics i major resistència de drag. Si més no, habitualment un vehicle no compleix tots els requisits descrits anteriorment. És possible que el vehicle més pesat no tingui la major resistència al rodolament o la pitjor aerodinàmica. Per tant, es defineix que el vehicle seleccionat ha de contenir aquella configuració de característiques (massa, drag i rodolament) tals que el seu producte sigui el més alt possible. Procedint igual per a seleccionar el vehicle L.

5.3. Interpolació/extrapolació del rang. Error comès.

Comparant experimentalment les interpolacions de CO₂ dels vehicles a l'interior del rang de valors entre els vehicles L i H s'obté que es poden obtenir aproximacions amb un error d'1g/km de CO₂.

Per al WLTC correspon fins a un increment de 30g/km de CO₂. A partir d'aquestes comprovacions es van decidir acceptar que el rang d'interpolació permès sigui de 30g/km o un 20% del CO₂ emès pel vehicle H (o valors inferiors). Per al cicle WLTC també s'estableix un límit inferior de toleràncies de 5g/km entre el vehicle L i H per evitar que les imprecisions dels mesuraments tinguin un efecte significatiu en la interpolació. Els càlculs d'extrapolació poden equivocar-se fins a 3g/km, el que permet fer certes modificacions en el vehicle i que mantinguin la mateixa homologació si no superen aquests valors. No obstant, mai es poden superar els límits de 5 i 30g/km.

5.4. Massa del vehicle testejat

La massa del vehicle ve donada per la massa en ordre de marxa (MRO), que és la suma de la massa del vehicle buit, l'equipament estàndard (incloent llantes), el tanc de gasolina ple un 90% i una massa de 75kg que representa el pes del conductor. La resta de massa

com pot ser d'equipaments addicionals, altres passatgers i equipatges no es tenen en compte.

Per al cas del WLTC [6] aquesta resta d'elements que no es tenen en compte s'haurien d'incloure de forma representativa. Per tant, es va establir que la massa de test (TM) sigui la següent:

- a) Massa del vehicle buit (MRO menys 75kg).
- b) Massa del conductor 75kg
- c) Massa addicional i constant equivalent a equipatges addicionals 25kg.
- d) Massa dels equipaments opcionals (instal·lats de fàbrica i seleccionats pel client)
- e) Massa variable en funció de la capacitat de càrrega del vehicle. Depenent de la categoria del vehicle i la regió, el factor pot variar entre un 15 i un 28% de la massa màxima de càrrega permissible i la massa de les contribucions a i d.

La massa dels equipaments instal·lats corresponen a la diferència de massa entre el vehicle H i L.

La massa del vehicle testejat s'ha de verificar abans de començar la càrrega de carretera i ha de ser igual o superior a la massa objectiu del test. Durant el test la massa pot variar degut al combustible consumit. A l'acabar la prova el vehicle torna a ser mesurat. La mitjana dels mesuraments s'utilitza per a determinar TMH actual i TML actual, que s'empraran per a efectuar les simulacions.

5.5. Modes d'operació especials: dinamòmetre i desacceleració

Els paràmetres f_0 , f_1 i f_2 de l'equació (2) habitualment s'obtenen accelerant el vehicle sobre una pista de condicions controlades i calculant el temps que tarda en aturar-se en punt mort. La corba de desacceleració s'ajusta per un polinomi de 2n grau on els coeficients corresponen als paràmetres f .

Mode coastdown: Quan es vol determinar les coeficients associats a les càrregues de carretera per aquest mètode, el vehicle ha de tenir un mode de conducció (ocult a l'usuari) pel qual es desactivin les ajudes electròniques al volant. D'aquesta manera s'eviten d'influir

elements no-reproduïbles com les assistències elèctriques del vehicle. Quan es realitzi el test de cicle de conducció s'ha d'activar aquest mode (mode coastdown).

Mode dinamòmetre: Si el vehicle es testeja sobre un dinamòmetre d'un sol eix, en el que es col·loquen les rodes davanteres sobre rodets i les darreres es mantenen estàtiques els programes electrònics d'estabilitat (ESP) poden fer funcionar el test incorrectament. Per tant s'ha de desactivar, quan s'utilitza un dinamòmetre de xassís.

Aquests modes de conducció han d'estar ocults al consumidor.

5.6. Pneumàtics

La resistència al rodolament dels pneumàtics (RRC) ha de ser mesurada segons les regulacions No 117-02, o similars internacionalment acceptades, i alineades d'acord les normatives regionals com la EU1235/2011. Els pneumàtics han de ser classificats i identificats per als següents motius:

1. És difícil calcular la resistència de rodolament dels pneumàtics. La classificació d'aquests pot donar un valor orientatiu sobre la seva resistència.
2. Amb el mètode de la interpolació de CO₂ cada vehicle obté un valor personalitzat d'emissions. Durant la producció, els fabricants d'automòbils, poden utilitzar diverses marques de pneumàtics. Pot ocórrer, que dos vehicle idèntics a excepció dels pneumàtics instal·lats amb diferent RRC, poden donar valors molt diferents d'emissions. La classificació de pneumàtics permetrà associar aquesta casuística a la classe de pneumàtic.

Segons els estudis realitzats, la influència del pneumàtic a les emissions de CO₂ és menor d'1,2g/km per massa de vehicle.

Els pneumàtics es classifiquen en tres classes (C1, C2, C3). En cas que puguin utilitzar-se diferents categories de pneumàtics en un determinat model de vehicle, la classe de vehicle estudiat determinarà la configuració de pneumàtics a equipar.

Cal observar que pel càlcul de les pendents de les línies d' interpolacions d'emissions de CO₂ s'utilitza el coeficient RRC. En canvi, per a estimar els valors de les emissions interpolats s'utilitza la classe de pneumàtic i no el coeficient RRC concret.

5.7. Factors de càrrega predeterminats

Per a vehicles amb sèries de producció molt petites, o bé, si un model de vehicle té moltes configuracions diferents, possiblement no sigui rentable realitzar un estudi exhaustiu de totes les configuracions i determinar tots els paràmetres de càrrega a partir de mesures empíriques. La UNECE ofereix una taula de coeficients de càrrega tabulats relacionats únicament amb la massa del vehicle, independentment de la mida que actualment es troba en desús degut a la poca representativitat.

Actualment, per aquests casos, es prenen coeficients tabulats segons:

- a) Taules basades en dades de circulació dels vehicles reals, estimades per als casos més desfavorables: per exemple, s'ha de representar el 5% de vehicles amb les càrregues de carretera més altes, i no amb el cas mitjà.
- b) La taula ha d'utilitzar els paràmetres del vehicle a estudiar com a inputs que estiguin directament relacionats amb les càrregues de carretera dels vehicles.
- c) Els valors específics dels paràmetres de càrrega poden ser usats com a coeficients de configuració del dinamòmetre de xassís.

Existeixen formules per a determinar els factors de càrrega en comptes d'emprar taules basades en la massa del vehicle el producte de l'amplada i alçada del vehicle.

5.8. Càrrega de carretera i de dinamòmetre

Els cicles de conducció es simulen en dinamòmetres de xassís⁴, els quals han de ser configurats de forma que permetin reproduir les característiques de les carreteres reals. Per a fer-ho requereixen introduir els paràmetres de les càrregues de carretera.

5.8.1. Requeriments generals

Els paràmetres de càrrega, descrits anteriorment, poden ser determinats usant el mètode de la desacceleració o el mètode del parell. (De vegades és possible utilitzar el mètode del

⁴ Veure apartat. 5.8.7 Preparació del dinamòmetre de xassís

túnel de vent per a determinar les diferències entre vehicles de la mateix model en el coeficient de drag).

Per compensar els efectes del vent quan es determinen els paràmetres de càrrega per ambdós mètodes, el vent ha de ser mesurat utilitzant un anemòmetre estàtic al llarg de tota la pista de proves o utilitzant un anemòmetre a bord. En aquest cas hi ha menys limitacions sobre les velocitat màximes del vent.

El rang de temperatures en el que s'han de determinar els factors de càrrega han d'anar dels 278K als 313K (5 a 40°C) amb desviacions de $\pm 5K$ del límit superior o inferior del rang fins a 274K.

5.8.2. Selecció del vehicle

El vehicle per a determinar els paràmetres de càrrega és el de tipus H, amb els paràmetres de càrrega de conducció més elevats (massa, força de drag, RRC,...) produint el cicle de més demanda energètica.

5.8.3. Força de drag

Totes les parts aerodinàmiques mòbils han d'operar com operarien en el test. És a dir, s'han de desplegar o replegar tal com ho farien en condicions normals en carretera. No obstant, aquesta llibertat d'operar les parts aerodinàmiques mòbils no es pot emprar per a obtenir coeficients de càrrega més avantatjosos. Si es detecten males pràctiques s'han d'ajustar els resultats en etapes posterior.

Per a determinar les variacions de la força de drag entre diferents configuracions d'un model de vehicle s'haurà d'utilitzar un túnel de vent. Com que no tots el túnels de vent tenen una cinta mòbil, que es necessària per verificar correctament la resistència de les diferents configuracions de llanta/pneumàtic, el túnel de vent no es pot utilitzar per a determinar la resta de factors. El fabricant pot proposar els paràmetres aerodinàmics tabulats en funció de la configuració llanta/pneumàtic. En aquest cas, si més no, no pot ser utilitzar per interpolar les dades i s'hauran d'utilitzar la pitjor combinació de llanta/pneumàtic del model.

5.8.4. Preparació del vehicle

La massa de vehicles ha de ser mesurada abans de determinar el paràmetres de càrrega de carreta i han de ser iguals o superiors de la massa específica a testear. Quan han

acabat les proves, la massa es pren novament . La mitjana de la masses és la que s'emptra per trobar els coeficients. S'ha de comprovar que el vehicle compleix totes les configuracions (selecció de pneumàtics, pressió dels pneumàtics, alineació de les rodes, terreny, alçada del tren de conducció, lubricants de les rodes,...) i han de correspondre als vehicles de producció.

EL vehicle pot haver rodat abans de determinar els factors de càrrega de carretera entre 10.000 i 80.000 km segons la prova però és necessari que hagi recorregut 3.000 km com a mínim .

El vehicle ha de tenir un mode coastdown i ha de ser activat quan es determinin els paràmetres de carrega i quan es realitza el test e n el dinamòmetre de xassís.

La profunditat del dibuix del pneumàtic ha de ser d'almenys un 80% de la profunditat del dibuix original en tot l'ample del pneumàtic, el que equival a un pneumàtic nou. Aquest requeriment serà comprovat abans d'iniciar la presa de dades. Cada mesurament serà vàlid cada 500 km per evitar que el desgast afecta al rendiment. Després de 500 km o si els pneumàtics no són nous han de ser re mesurats.

La pressió dels pneumàtics ha de ser superior al límit inferior de la pressió especificada pel fabricant amb un factor de correcció si la temperatura de l'ambient i del pneumàtic difereix més de 5 K.

5.8.5. Escalfament del vehicle

El vehicle s'ha d'escalfar en un carretera o pista al 90% de la velocitat màxima del test a superar. Durant l'escalfament, el vehicle s'ha de desaccelerar amb una frenada moderada, de 80 a 20km/h en 5 a 10 segons. Aquest procediment evitarà qualsevol pràctica per reduir les pèrdues residuals de les pastilles de frenada que toquen els discos de fre.

5.8.6. Procediments de mesura

Com s'ha anomenat anteriorment, hi ha tres mètodes de mesura per determinar els factors de càrrega del vehicle:

- a) Coastdown: El vehicle s'accelera a una velocitat pròxima a la màxima de referència i es desaccelera en una pista plana amb la transmissió en posició neutral.

- b) Mesurador de parell: El mesurador de parell és instal·lat a les rodes del vehicle, on es mesura el parell mentre el vehicle es desplaça a velocitat constant de referència
- c) Càrregues predeterminades: En comptes de mesurar les càrregues en carretera, el fabricant d'automòbils pot escollir utilitzar "*Càrregues predeterminades de carretera*" basades en els paràmetres del vehicle.

Mesurar les càrregues en un túnel de vent no és considerat encara prou robust per afegir-ho com un test de procediment.

5.8.6.1. Mètode coastdown

Es pot desenvolupar aquest mètode de dos formes diferents

- a) Mètode del multi segment amb un anemòmetre estacionari: Es seleccionen 6 velocitats de referència del total de velocitats que es vagin a aplicar al cicle de conducció a simular amb una separació màxima entre elles de 20 km/h. El vehicle s'ha de situar en una pista i fer-lo córrer a una velocitat mínima de 5 km/h per sobre de la velocitat de referència més alta i fins a 5 km/h per sota de la velocitat de referència més baixa. Es recomana que les carreres per la pista tinguin lloc sense interrupcions per tot el rang de velocitats, si més no, està permès realitzar les proves en varis segments si la pista no es suficientment llarga sempre tenint en compte que les condicions del vehicle es mantenen constants. S'ha de reproduir la prova en ambdós sentits de la pista fins que els resultats siguin estadísticament iguals i satisfactoris. El temps de duració de la prova per a cada velocitat de referència es determina calculant les mitjanes dels temps harmonitzats (per separat per a cada direcció). Sabent la inèrcia del vehicle, la corba de desacceleració pot ser utilitzada per determinar la força de càrrega per a cada velocitat de referència. Es calcula la inèrcia del vehicle amb la mitjana de la massa del vehicle abans i després del procediment, i la massa efectiva equivalent de les rodes i els components giratoris. Amb les dades recollides s'ajusten amb un polinomi de segon ordre mitjançant una regressió quadràtica amb factors f_0 , f_1 i f_2 . Aquest procediment es desenvolupa per ambdues direccions de pista per separat, i es fa la mitjana d'ambdós factors. Per finalitzar, els coeficients són corregits segons la mitjana de la velocitat del vent, la massa actual del vehicle, la temperatura efectiva i la resistència de rodament i les desviacions de la temperatura estàndard i pressions que afecten a la força de drag.

b) Anemòmetre a bord: El vehicle és equipat amb un anemòmetre per a determinar la velocitat del vent i la direcció. Aquest anemòmetre pot ser un braç d'aproximadament 2 metres per davant del vehicle o un dispositiu instal·lat al sostre del vehicle sobre la línia central. El procediment és semblant al descrit anteriorment a) però s'han de realitzar al menys 5 desacceleracions per direcció. Les corbes de les desacceleracions i les dades de l'anemòmetre són combinades en una equació de moviment. En un procediment complex de càlculs, es defineixen els paràmetres de la corba de càrregues de la carretera. La correcció del vent ve implícita en el procediment.

5.8.6.2. Mètode de la mesura de parell

Una alternativa per al test de la desacceleració es emprar el mètode de mesura del parell

1. En comptes de calcular els factors de càrrega de la carretera indirectament a partir d'una corba de desacceleració, es mesura el parell directament als pneumàtics (amb el que es pot calcular la força de resistència amb el radi dinàmic del pneumàtic) Per tant, el mètode pot ser aplicat a un vehicle a velocitat constant. Si el vehicle conté forces no reproduïbles en la seva línia de conducció⁵, aquestes no poden ser determinades mitjançant el mètode de la desacceleració, i aquest mètode és l'únic que pot determinar-les.
2. Com que el mesurador de parell és habitualment instal·lat a la caixa de la roda i a la llanda, les resistències per sobre de la línia de conducció no són considerades. El mètode de la mesura de parell, per tant, troba forces de resistència menors a les del mètode de la desacceleració. Per evitar discrepàncies entre ambdós mètodes, es diu que el mètode de la desacceleració determina el total de resistència mentre el mètode de mesurament del parell determina la resistència al desplaçament. Per obtenir els paràmetres a introduir en el dinamòmetre de xassís, les dades recollides amb el mesurador de parell instal·lat es configuren al dinamòmetre i les forces de resistència determinades pel mètode de les desacceleracions poden ser reproduïdes de la següent manera: una vegada s'ha configurat el dinamòmetre de xassís amb les dades dels mesuradors de parell, s'executa una desacceleració, de la que se'n poden obtenir els factors de càrrega utilitzables per a realitzar proves

⁵ La línia de conducció d'un vehicle (driveline o drivetrain) correspon a totes les parts del vehicle a excepció del motor.

posteriors. Si el vehicle té forces no reproduïbles, el dinamòmetre només es podrà configurar segons els parells determinats.

Aquest mètode també requereix de 6 velocitats de referència del rang de velocitats del cicle, amb una separació màxima entre elles de 20km/h. El vehicle ha de ser conduït a cada referència un mínim de 5 segons, mentre es manté la velocitat constant (amb petites toleràncies). Les mesures són realitzades diverses vegades en direccions oposades de circulació i compensades per la velocitat de drift, fins que les mesures són estadísticament acceptables. Els conjunts de velocitat de referència i les parells de resistència corresponents s'utilitzen per ajustar una corba de regressió polinòmica de segon ordre amb els factors de resistència a la marxa c_0 , c_1 i c_2 , que descriuen el parell de la roda en funció de la velocitat del vehicle. El procediment es realitza per ambdues direccions de la pista i es fa la mitjana dels factors de resistència calculats. Finalment, els factors de resistència a la marxa es corregeixen segons la velocitat mitjana del vent, la massa de prova real, l'efecte de la temperatura sobre la resistència de rodament i les desviacions temperatura i pressió estàndards que afecten al resistència aerodinàmica.

5.8.6.3. Factors de càrrega predeterminats

La tercera opció es obtenir els valors predeterminats d'una taula sense necessitats d'emprar mesuraments. Pot ser una opció per aquelles sèries de vehicles que necessitin tenir un relació cost-efectivitat alta, especialment aquelles series de petita producció o si hi ha moltes variants del mateix model. Els valors pre configurats de càrregues de carretera dels vehicles estan parametrizats amb la massa de test per a la resistència al rodament i amb el producte de l'ample i alt del vehicle com un indicador de la força de drag aerodinàmica. Per evitar que aquest valors creïn un avantatge respecte a la mesura de coeficients, sempre es seleccionen els casos més desfavorables.

5.8.7. Preparació del dinamòmetre de xassís

Dinamòmetre de xassís

Un dinamòmetre es un dispositiu que permet mesurar simultàniament el parell i la velocitat angular (RPM) d'un motor o qualsevol força motriu, el que permet calcular la potència exercida [13].

Els dinamòmetres són àmpliament utilitzats per fer simulacions de carretera sobre motors o sobre vehicles. A partir de mesures de potències i parells, els dinamòmetres s'utilitzen per a testar motors i vehicles i obtenir informacions detallades sobre els patrons d'emissions i combustió del vehicle.

Un dinamòmetre d'absorció és el que genera una càrrega sobre la força motriu que es vol estudiar. El dinamòmetre, en aquest cas, el banc de rodets, ha de ser capaç d'operar en tot el rang de velocitats de l'estudi que es vol fer.

Els dinamòmetres d'absorció solen anar equipats amb elements capaços de mesurar el parell exercit i la velocitat.

L'energia absorbida pels dinamòmetres generada per la força motriu és convertida en calor i dissipada a l'ambient o transferida a sistemes de refrigeració líquids. Alguns dinamòmetres fins i tot són capaços de convertir aquesta energia en energia elèctrica per ser utilitzada. Existeixen dinamòmetres de força constant i de velocitat constant.

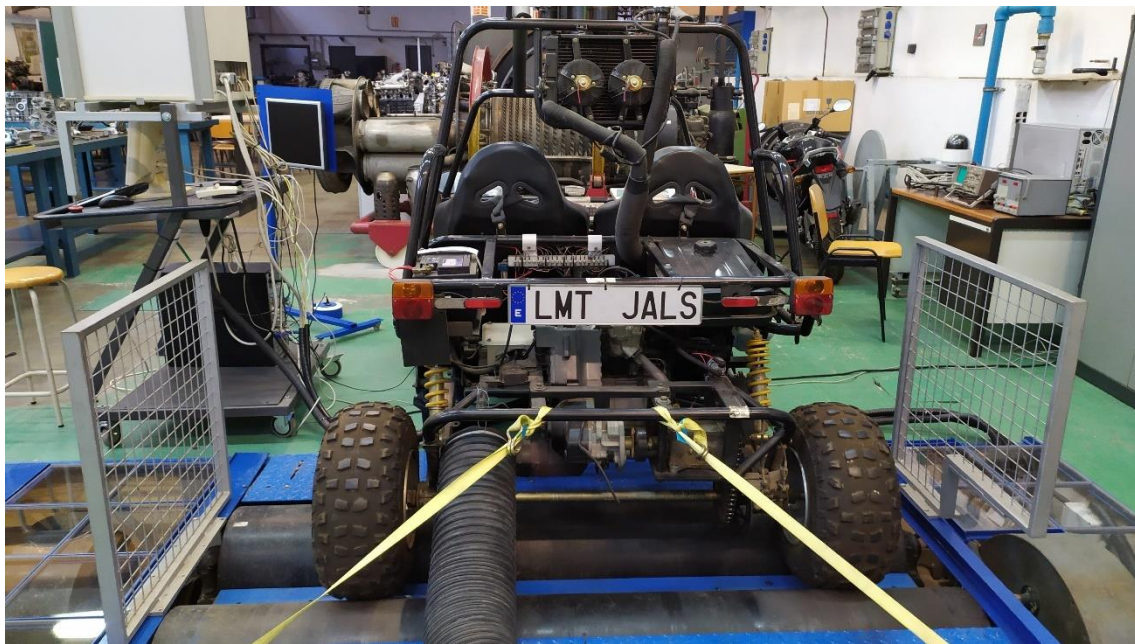
El dinamòmetre consisteix en una cèl·lula d'absorció i elements de mesura de parell i velocitat angular de rotació. La unitat d'absorció és, habitualment, un rotor acoblat a un l'element de lliure rotació, el qual ha de ser capaç de suportar totes les velocitats de l'estudi que es desitgi realitzar. Habitualment també s'inclou algun mètode per generar una força de fricció addicional entre el rotor i el dinamòmetre per simular les forces de la realitat de tipus friccional, hidràulica electromagnètica, etc.

També es poden emprar transductors de parell que proveeixen d'un senyal elèctric proporcional al parell aplicat.

El dinamòmetre emprat per a desenvolupar aquest projecte és un tipus de dinamòmetre en el qual no s'aplica una força sobre l'eix motriu i es calcula la potència utilitzada per a generar un cert moviment sinó que el propi dinamòmetre incorpora un volant d'inèrcia fix i conegut (dinamòmetre inercial). Per conèixer la potència del vehicle, es podria mesurar el temps que triga en accelerar el volant fins a una certa velocitat. La velocitat es determina a partir d'una roda fònica i un sensor magnètic capaç de detectar la quantitat de dents que creuen la zona de detecció durant un període de temps determinat i associar-ho a una velocitat.

Existeixen diversos tipus de dinamòmetres inercials, utilitzats per a testear motors o forces motrius. En aquest cas s'utilitza un dinamòmetre de xassís, que és el permet situar un vehicle sencer a sobre i simular conducció per carretera però en un entorn controlat, habitualment a l'interior d'una habitació. El vehicles es situa sobre els pneumàtics a sobre dels rodets de lliure rotació.

Els dinamòmetres que s'utilitzen per homologar vehicles, també han d'incloure complexos elements per prendre mostres de les emissions.



Imatge 4. Dinamòmetre de xassís del laboratori de Màquines Tèrmiques de l'ETSEIB amb un vehicle a sobre. Font pròpia.

Degut a les pèrdues mecàniques i les friccions intrínseques al sistema en diversos components del tren motriu, la mesura de la potència en els pneumàtics és entre un 15 i un 20% menys de la potència mesurada del cigonyal o del motor [12].

En el cas d'aquest projecte, el disseny consisteix en dos rodets per parell de pneumàtics en i el vehicle s'hi posiciona a sobre i entre els rodets. Cal tenir en compte que aquest tipus de disseny de dinamòmetre de xassís, és senzill i econòmic, però degut a les altes restriccions i precisions que han de tenir els vehicles actuals, no són aptes per al desenvolupament en el sector automobilístic. Si més no, és molt útil per mesurar rendiments de motor de vehicles de final de línia sense desmuntar-los o ajustar rendiments de vehicles i desenvolupament en àmbits no competitius.

5.8.7.1. Aspectes a tenir en compte en els dinamòmetres de xassís

Degut a que el vehicle es troba assegurat i confinat a l'interior d'una habitació, el dinamòmetre ha d'estar dissenyat per aplicar les càrregues de carretera que són aplicades al vehicle quan circula per carretera.

Com és el cas de l'augment de la força de drag degut a l'augment de la velocitat del vehicle s'ha de traduir en un augment de la força exercida sobre el vehicle durant la simulació quan s'augmenta la velocitat.

Aquest paràmetres es carreguen a l'estació de treball per aplicar aquestes forces. Variant aquests paràmetres es pot simular en els vehicles les acceleracions de si estigués completament carregat o establint un gradient, simular forces si el vehicle circulés en pendent negativa.

També s'hauria de considerar la temperatura de simulació o fins i tot, la pressió atmosfèrica, que pot afectar als consums de combustible

5.8.8. Simulació de cicles de conducció en el dinamòmetre de xassís

El primer pas per a realitzar un test en dinamòmetre de xassís es introduir la massa d'inèrcia equivalent. Aquesta massa és la mateixa que la massa que la massa mitjana del vehicle durant la determinació dels coeficients de càrrega a la carretera. Anteriorment la inèrcia no estenia en compte, actualment ha de coincidir exactament amb la massa de test o superior. En cas de d'emprar un dinamòmetre d'un eix, on un parell de pneumàtics no roten, la massa d'inèrcia ha de ser incrementada per la massa efectiva dels pneumàtics que no roten, (o estimar-la com un 1.5% de la massa descarregada).

El segon pas es realitzar un escalfament del vehicle i del dinamòmetre. El procediment d'escalfament del vehicle dependrà del cicle que s'apliqui a continuació. El fabricant d'automòbils pot usar un cicle d'escalfament més curt per a un grup de vehicle prèvia verificació de l'equivalència del resultats.

5.8.8.1. Ajust de càrrega del dinamòmetre de xassís

La finalitat de la configuració del dinamòmetre de xassís es reproduir les forces de càrrega determinades a la carretera el més semblants possible. Ja que la resistència del vehicle en

el dinamòmetre és molt diferent de la que hi ha a la carretera, l'objectiu es compensar-les amb la configuració del dinamòmetre. Amb aquesta finalitat és necessari especificar dos grups de coeficients de càrrega (descrits segons un polinomi de segon ordre):

- a) Coeficients objectiu: càrregues determinades en pista de proves.
- b) Coeficients establerts: càrrega que s'estableix en el dinamòmetre de xassís.

La diferència entre aquests dos grups de coeficients és bàsicament la fricció interna del dinamòmetre de xassís, la diferencia de contacte de les rodes en els rodets i l'absència de força de drag aerodinàmica del laboratori.

Si la determinació de càrregues s'ha realitzat mitjançant el mètode de desacceleració, la configuració del dinamòmetre de xassís també s'ha de tornar a realitzar mitjançant el mètode de desacceleració.

Per a configurar el dinamòmetre es poden emprar dues metodologies:

- a) Mètode d'execució fixa: en un procés automatitzat, el software del dinamòmetre de xassís desenvolupa 3 desacceleracions consecutives i calcula les configuracions apropiades per al dinamòmetre segons els coeficients de càrrega objectiu determinats en pista i introduïts a l'aparell, restant els coeficients objectiu de la mitjana de les carreres.
- b) Mètode iteratiu: Les desacceleracions són ajustades i repetides fins al dos carreres consecutives (després de les regressions) fins a complir les toleràncies de $\pm 10N$.

5.8.9. Vehicle de test

Per als tests d'emissió en un dinamòmetre de xassís, s'han de determinar les càrregues de la carretera sobre el vehicle H de test. Si existeixen diverses categories de vehicle dins d'un mateix model i es vol emprar el mètode de la interpolació, les càrregues de carretera s'hauran de determinar sobre un segon vehicle, L. No obstant, la interpolació de CO_2 només pot ser aplicada sobre aquelles variables rellevants entre ambdós vehicles i que són seleccionades després d'obtenir-les en els dos vehicles i són significativament diferents. Per exemple, si els vehicles L i H estan equipats amb el mateix pneumàtic, no s'aplicarà interpolació en el RRC.

Cal destacar que les interpolacions només s'apliquen per a vehicles del mateix model o família i que poden tenir emissions de CO₂ semblants.

El vehicle es disposa sobre el dinamòmetre de xassís, i es configura en el mode de *dynamometre operation mode* o *vehicle coastdown mode*. Aquests modes han de ser activats durant les proves. La resta de components i ajudes a la conducció han de ser desactivades durant el test.

Els pneumàtics que equipi el vehicle han de ser els originals descrits pel fabricant, i poden tenir una pressió màxima del 50% per sobre de la pressió del pneumàtic especificada. Com que les diferències de resistència al rodolament són implícitament corregides per la configuració introduïda en el dinamòmetre de xassís (provinent dels tests en pista), el sobre inflament no afectarà a la veracitat de les càrregues de carretera respecte a la pressió nominal.

5.8.10. Precondicionament del vehicle

El dinamòmetre de xassís es configura segons s'ha descrit anteriorment. Per raons de reproductibilitat, la bateria ha d'estar completament carregada. Per pre condicionar el vehicle i la bateria, es podrà realitzar un test de prova igual al que es vagi a simular durant una vegada (cicle de precondicionament). A més a més, es poden conduir cicles de precondicionament addicionals a sol·licitud per part fabricant a l'autoritat responsable per tal de portar el vehicle sota condicions estabilitzades. Per exemple, si el vehicle és de canvi automàtic que s'adapta lentament al comportament de la conducció, podrien necessitar-se diversos cicles de conducció previs per permetre que l'algorisme s'adapti al cicle a analitzar. Després del precondicionament i abans de les proves, el vehicle s'ha de deixar en un ambient condicionat ala temperatura de realització de la prova durant un mínim de 6 hores i fins a un màxim de 36 hores (punt d'ajust de l'àrea condicionada de remull 296K ± 3K) fins que la temperatura de l'oli del motor i la temperatura del refrigerant estiguin dins de l'interval ±2K del punt d'ajut.

5.8.11. Transmissions

Per a les transmissions manuals, el canvi de marxes ha d'estar estipulat i s'ha de complir amb unes toleràncies de ±1s. Si el vehicle es incapaç de seguir la traça de velocitat haurà d'estar operat per un control d'acceleració automàtic.

Els vehicles amb canvi automàtic que disposen de diversos estils de conducció seran testats amb el mode més predominant en carretera, si i només si, s'aprova l'ús d'aquest mode per desenvolupar el test. Els resultats en el mode principal seran els usats per determinar el consum de CO₂ i les emissions.

S'haurà d'evitar que el vehicle salti d'un mode a un altre mode, automàticament, que no sigui el predominant, ja que podria induir a mals usos de l'aplicació del test. D'aquesta forma el canvi entre modes només ha de poder ser activable pel conductor i no ha de tenir impactes en el rendiment del vehicle.

Si el vehicle no té un mode predeterminant de conducció o no és acceptat per l'autoritat competent de desenvolupar el cicle, el vehicle ha de ser testat en el mode més favorable i en el mode més desfavorable segons el criteri de les emissions de CO₂ i consum de combustible. Per determinar les emissions de vehicle s'haurà de fer la mitjana d'ambdós valors.

Tot i que el vehicle s'avalua en el mode predominant de conducció, ha de complir els requisits d'emissions i de conducció per a tots els modes de conducció (excepte per aquells modes que són d'ús especial com modes de manteniment, crawler mode, coastdown mode,...).

5.8.12. Test

El test pot començar després de que el vehicle hagi estat correctament pre condicionat i temperat. El vehicle és traslladat de la sala de condicionament a la sala de test que inclou el dinamòmetre de xassís. Tots els equipaments necessaris per mesurar les emissions, els filtres de partícules i el mostreig de partícules han d'estar preparats i calibrats a priori. Un cop el vehicle està instal·lat s'aplica el cicle de conducció amb els intervals de tolerància determinats. A excepció del mostreig de filtres de partícules, totes les mesures dels compostos han d'estar disponibles per a cada fase (Baixa, Mitjana, Alta i Molt Alta) per tal d'ajustar les ponderacions nacionals de cada part.

El mostreig de partícules es du a terme en un sol filtre per a tot el cicle o, en alguns casos, un filtre per a les tres primeres parts i un segon filtre per a la quarta fase segons la legislació de cada territori.

5.8.13. Procediments post procés

Abans de realitzar les anàlisis de les mostres, s'ha d'ajustar i calibrar el zero i els intervals. Un cop es completa una fase del cicle, les bosses que contenen els gasos diluïts emesos han de ser analitzades el més aviat possible, sense demorar-se més de 30 min després d'acabar la fase del cicle. El filtre de partícules ha de ser traslladat a la sala de pesatge abans d'una hora d'haver finalitzat el test.

Incís per a vehicles amb sistemes de regeneració: Si es superen els límits establerts durant el cicle pel sistema de regeneració s'han de ponderar les emissions. El factor per ponderar es defineix com els nivells d'emissions que són atribuïbles a cicle sense regeneració i el seu rendiment. Es té en compte els cicles sense regeneració i el rendiment d'emissions de cada cicle i es comparen amb un o diversos cicles on que la regeneració actua amb els valors per sobre dels límits. El factor ponderatiu pot ser additiu o multiplicatiu..

6. Laboratori de Màquines Tèrmiques

El present projecte té l'objectiu de proveir al departament de Motors i Màquines Tèrmiques de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona de la Universitat Politècnica de Catalunya, d'un software que permeti simular qualsevol cicle de conducció, teòric o real (prèviament enregistrat), al Laboratori de Màquines Tèrmiques.

Amb aquesta finalitat es disposa d'un equipament format per un banc dinamomètric de rodets, una tarja d'adquisició de dades i un computador que permeten obtenir una lectura de les dades de força i velocitat a temps real que a les que està sotmès un dels rodets degut a l'actuació d'un parell de pneumàtics motrius d'un vehicle.

Per aconseguir-ho s'ha desenvolupat un codi en llenguatge Matlab que és capaç d'interpretar a temps real dues senyals analògiques discretes provinents de la tarja d'adquisició de dades. En aquesta ocasió només s'analitzarà la senyal de velocitat del vehicle.

6.1. Buggy

El vehicle amb el que s'ha realitzat el desenvolupament del software, les calibracions, les simulacions i les verificacions és un vehicle de tipus buggy. Empra un motor de combustió per generar una força motriu que es transmet als pneumàtics posteriors (tracció posterior).

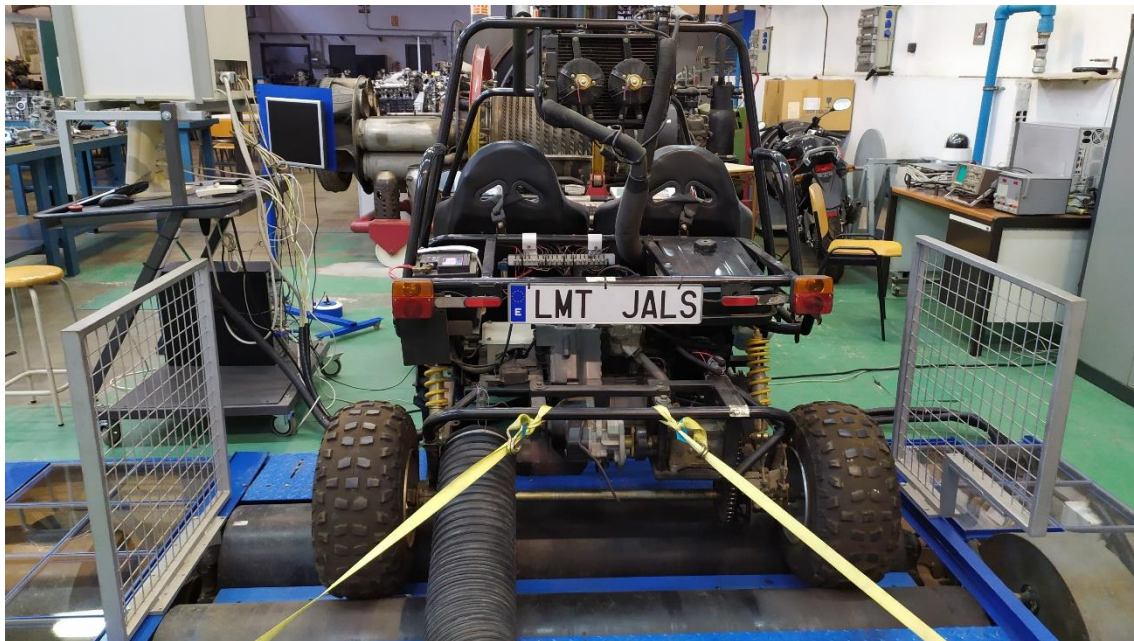


Imatge 5. Sistema de simulació de cicles de conducció. Font pròpia.

Per evitar que les emissions contaminin el laboratori, es tub d'escap està connectat a un sistema de ventilació que expulsa els gasos resultants de la combustió cap a l'exterior.

6.2. Banc dinamomètric

El banc dinamomètric o dinamòmetre de xassís està format per dos rodets paral·lels els quals formen un parell cinemàtic inferior amb els dos pneumàtics posteriors del vehicle situat a sobre. El contacte de cada pneumàtic es produeix de forma ideal al llarg d'una línia recta i paral·lela a l'eix dels rodets de cadascun d'ells. Aquests estan ancorats a banda i banda per sota del nivell del terra per mantenir una inclinació del vehicle mínima, ja que els pneumàtics anteriors es recolzen sobre el terra i afecti el menor possible a les simulacions. Cal destacar que el contacte real no és regular. Principalment degut a l'existència de relleus pronunciats sobre la superfície dels pneumàtics del vehicle, ja que conté tacs per adherir-se en terrenys sorrenecs. Per altra banda, la falta de rodament del vehicle i genera un lleu aplanament dels pneumàtics modificant la forma circular inicial i afectant a l'estabilitat del vehicle. A més a més, com que el pneumàtic està conformat amb cautxú, un material flexible, que en les pressions d'operació del pneumàtic pot deformar. D'aquesta forma el contacte és de tipus superficial, i irregular amb els rodets. Aquests fenòmens poden introduir vibracions durant la realització de les proves.



Imatge 6. A la part inferior banc dinamomètric. Font pròpia.

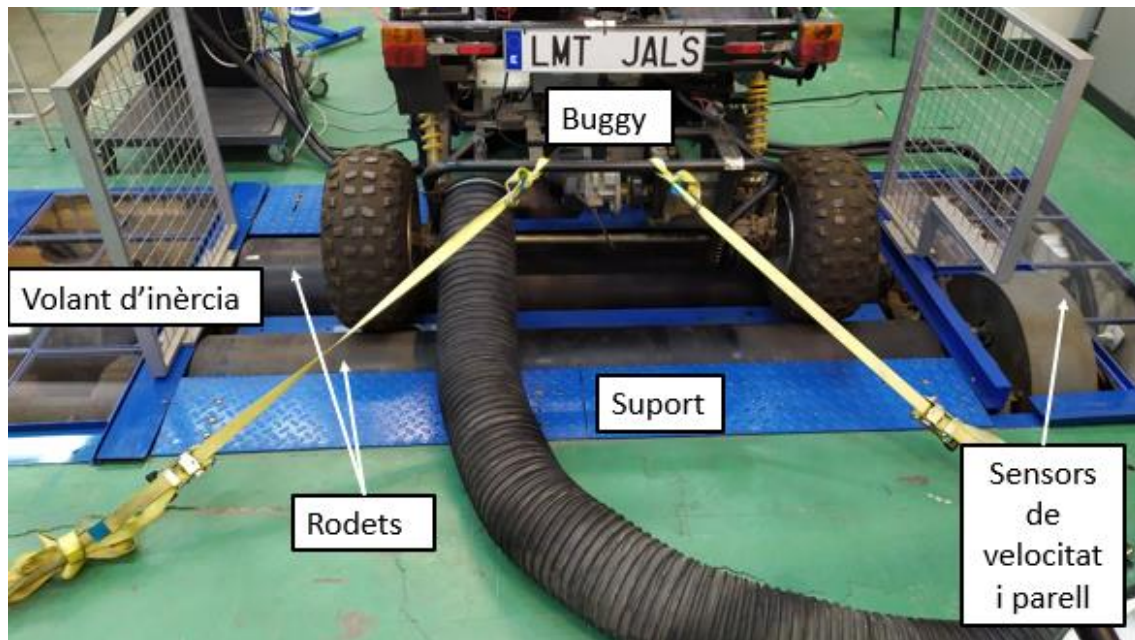
Per millorar l'adherència del contacte de la roda, s'han practicat unes incisions en un dels rodets per augmentar el coeficient de fregament estàtic i reduir-ne la possibilitat de lliscament.



Imatge 7. Detall del contacte entre un dels pneumàtics d'una roda motriu amb els rodets del banc dinamomètric. Font pròpia.

Una estructura metàl·lica que actua de suport dels elements del dinamòmetre assegura la rotació paral·lela dels eixos dels cilindres alhora que actua de suport per al vehicle.

A cadascuna de les bandes dels rodets s'hi ubica instrumentació per al desenvolupament correcte de les anàlisis:



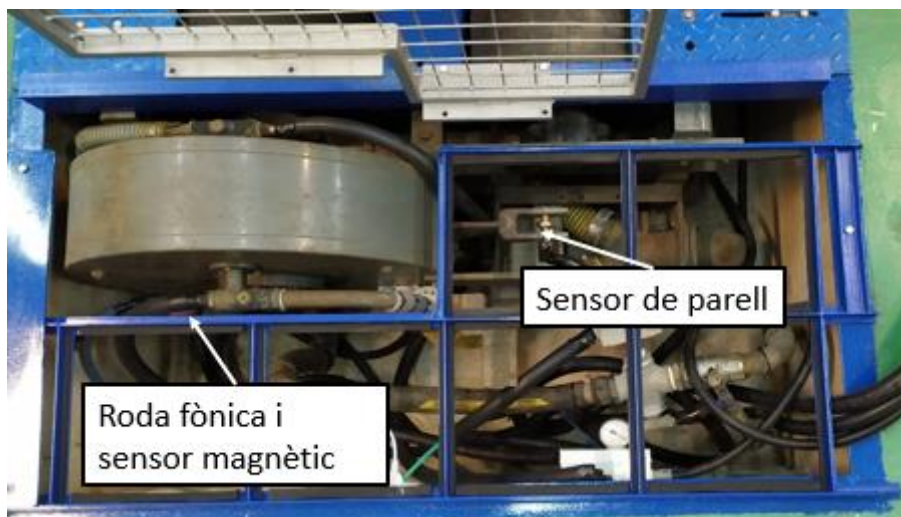
Imatge 8. Pla general de la disposició dels elements en el banc dinamomètric. Font pròpia.

A la cavitat de esquerra s'hi situa un volant d'inèrcia acoblat per mitjà d'un sistema de corretges a ambdós rodets. El volant d'inèrcia, de massa constant, serveix per simular una càrrega fixa a vèncer per part del vehicle quan est accelerant o en moviment. I igualment la massa que ha d'aturar quan desaccelera.



Imatge 9. Detall de la cavitat esquerra amb el volant d'inèrcia acoblat als rodets. Font pròpia.

La finalitat d'aquest volant és assumir part de la càrrega que hauria de vèncer el vehicle quan es posa en moviment sobre una carretera. La resta de la càrrega vindrà imposada de forma variable a partir dels coeficients de càrrega de carretera introduïts al software del dinamòmetre.



Imatge 10. Cavitat dreta amb la instrumentació encarregada de mesurar la velocitat i el parell dels rodets. Font pròpia.

A la cavitat dreta s'hi situen els sensors de velocitat i parell. El sensor de velocitat mesura les RPM del rodets posterior. Per a determinar la velocitat de rotació del rodets s'utilitza una roda fònica amb sensor magnètic. La roda fònica té un perfil dentat regular i gira solidàriament amb el rodets. El sensor magnètic detecta la quantitat de dents que hi passen per davant cada interval de temps generant un puls elèctric proporcional a les dents i, per tant, a la velocitat dels rodets.

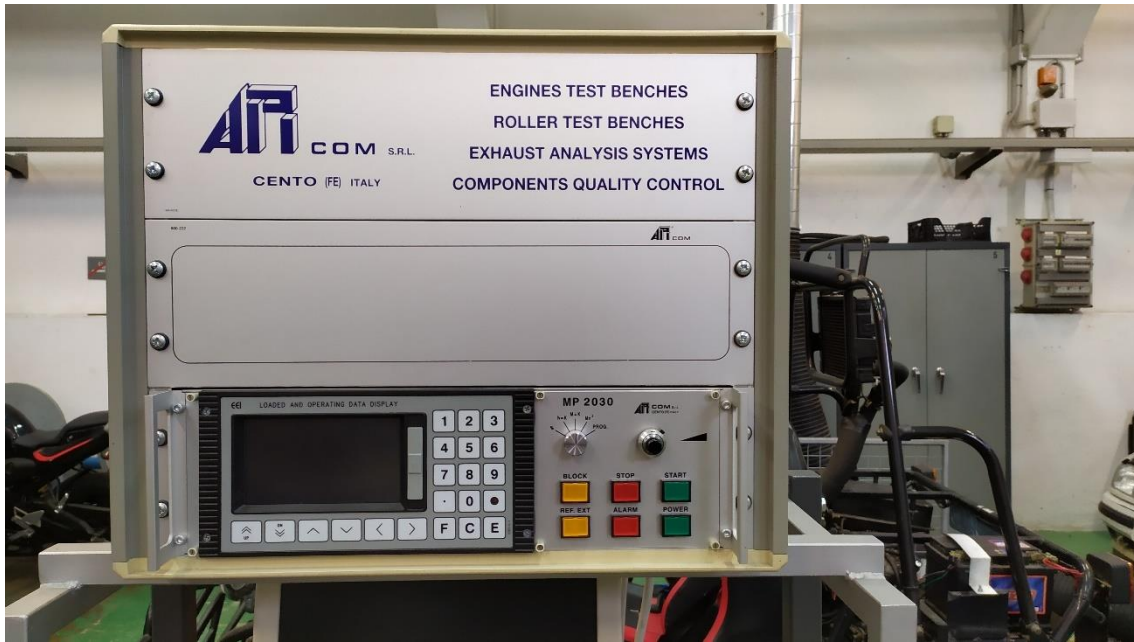


Imatge 11. Roda fònica i sensor magnètic. Font pròpia.

Per mesures de seguretat, el vehicle ha d'estar subjectat en tot moment quan s'efectuï una prova per mitja de les dues corretges grogues que estan ancorades a terra i eviten un desplaçament fortuït del vehicle en cas de superar la força de fricció roda – rodets o un hipotètic falcament del sistema.

6.3. Sistema d'adquisició de dades

Per al processament de les senyals provinents dels sensors de velocitat i parell s'utilitza el sistema d'adquisició de dades API MP 2030.



Imatge 12. Sistema d'adquisició de dades MP 2030 del fabricant API amb panell de visualització de dades i comandaments de control de l'aparell. Font pròpia.

Aquest dispositiu s'encarrega realitzar les lectura de les tensions que proporcionen els sensors mitjançant mostrejos i de condicionar-les per obtenir un senyal que sigui interpretable. El condicionament de les senyals està format per processos com filtratges, i amplificacions, entre d'altres. Finalment, el DAQ digitalitza el senyal transformant les amplituds dels senyals analògics elèctrics en un senyal discret en el domini de la freqüència.



Imatge 13. Connexions del DAQ. Font pròpia.

De fet, el DAQ és capaç de proporcionar senyals en el domini de l'amplitud o de la freqüència en funció de les connexions practicades. Es va optar per aquesta última opció ja que proporciona molta més precisió en els resultats.

6.4. Computador



Imatge 14. Vista general de la zona de control del cicle de conducció. Font pròpia.

El processament digital i la manipulació matemàtica de les senyals en el domini de la freqüència discreta, a temps real, es realitza en un ordinador.

L'adquisició de dades per part de l'aparell computador es realitza mitjançant la targeta de so de l'ordinador, que generalment, tenen freqüències de mostreig molt elevades i permeten reconstruir el senyal adequadament un cop re mostrejat.

6.5. Condicionament de la instal·lació

6.6. Descripció del sistema

Quan el vehicle que es situa a sobre dels rodets és accelerat, aquest transmet una força motriu des del motor fruit de les combustions internes fins a les rodes. L'elevada força de fricció pel contacte dels pneumàtics amb els rodets és capaç de transmetre un parell cap al dinamòmetre. El vehicle, que es trobava a velocitat zero comença a accelerar el sistema: rodets amb el volant d'inèrcia acoblat.

El moviment dels rodets genera tensions equivalents a la velocitat i el parell aplicat pels principis descrits a l'apartat anterior. Les tensions són transmeses al DAQ a través de cablejat, que processa les senyals fins a proporcionar dues senyals de sortida en el domini de la freqüència, la qual varia segons les magnituds físiques mostrejades.

Mitjançant un cable d'àudio de tipus estèreo amb connector jack es transmeten els senyals fins a la tarja de so del computador. El cable té dos canals, per tant, es poden transmetre ambdós senyals simultàniament. El connector Jack permet acoblar el cable a l'entrada de so per micròfon de la tarja de so. Aquesta tarja té períodes de mostreig extremadament elevats, habitualment per sobre dels estàndards de CD-Àudio, que està fixada en 44100 mostres per segon (els equips de baixa qualitat tenen freqüències de mostreig de fins a un mínim de 22050 mostres per segon o 11025 mostres per segon). No obstant, la freqüència dels senyals que es generen pel DAQ són d'un ordre molt menor que la freqüència de mostreig; per tant, les targetes de so no són un impediment per a la reconstrucció dels senyals segons el Teorema de Shannon.

La tarja de so mostreja les senyals en el domini de la freqüència de forma que queden interpretables pel computador.

El software desenvolupat per aquest Projecte de Final de Grau ordena a la tarja de so mostrejar a una freqüència de mostreig imposada de 8000Hz per un període de 0,4 segons el senyal llegit a la tarja de so.

Aquest mostreig genera un senyal reconstruït igual al proporcionat pel DAQ ja que es compleix el Teorema de Shannon en tot moment. El software calcula la transformada discreta de Fourier del senyal mostreat a partir d'una subrutina de codi obert anomenada FFTW de la llibreria DFT desenvolupada al MIT per Matteo Frigo i Steven G. Johnson, que utilitza un algorisme molt eficient per a obtenir la distribució de freqüències. D'aquest espectre es selecciona l'harmònic principal definit com el que té la major densitat espectral.

Per accelerar al màxim aquests càlculs és donen uns valors inicials pels quals començar a iterar definits segons la funció fftw amb el mètode "exhaustive", que es realitza a priori, i el qual aplica diversos test a les dades per obtenir uns valors de partida de les iteracions. Quan l'algorisme resolt una transformada ràpida de Fourier, emmagatzema els valors emprats per a trobar l'espectre de freqüències, de forma que quan es torna aplicar el

mètode per a unes dades diferents però de les mateixes característiques és capaç d'aplicar la transformada ràpida de Fourier molt més ràpidament.

La freqüència de l'armònic principal és equivalent a la velocitat dels rodets. A partir de diverses mesures experimentals es va confirmar que es tractava d'una relació lineal i es va trobar el factor de conversió, que és aplicat durant l'execució del cicle per mostrar finalment la velocitat.

Tot aquest procediment s'itera tantes vegades com la capacitat del processador ho permeti mentre duri la simulació. Totes les velocitats s'associen al temps al que s'ha realitzat el mostreig respectiu i es representen en una corba animada a temps real en un plot en el monitor del conductor del vehicle.

La persona encarregada d'executar el cicle pot observar, a temps real el cicle de conducció que està traçant. El software també permet visualitzar al mateix temps un interval de toleràncies d'un cicle pre carregat. El conductor del vehicle per tant, es pot ajustar a aquest interval de tolerància per resseguir el cicle al que es desitja sotmetre el vehicle.

Quan s'acabi el període de simulació es poden recuperar les dades de temps – velocitat. I es pot enregistrar el cicle complet executant la segona secció de l'script contingut a l'ANNEX anomenat *cicle_conducció_sim.m*

6.7. Procediment d'operació

En primer lloc es situa el vehicle amb les rodes motrius a sobre dels rodets assegurant una bona alineació de l'eix de les rodes amb les dels rodets. Si més no, si existeixen petites desviacions es generaran moments a la superfície dels pneumàtics que acabaran d'alinear els eixos. A continuació és essencial assegurar el vehicle per mitjà de les dues corretges ancorades a terra com a mesura de seguretat.

Es situa el monitor de suport de forma que sigui visible pel conductor. Amb l'ordinador engegat i el software Matlab obert, es guarda el cicle de conducció que es desitja simular en un fitxer .xls en un directori de l'ordinador. És important que les dades estiguin guardades en freqüència 1Hz, és a dir una columna de velocitats on cada fila equival a la velocitat que ha d'assolir el vehicle el segon corresponent. Per limitacions en la velocitat de processament, no es poden executar cicles de conducció amb freqüències

d'enregistrament superiors. A continuació es guarda el software (script de l'ANNEX *cicle_conducció_sim.m*) al mateix directori que el cicle de conducció i es defineix com a directori principal a Matlab.

Quan es desitgi iniciar el cicle només farà falta executar el programa i començarà immediatament la simulació. A mesura que el conductor acceleri la velocitat real plantejada variarà segons la velocitat que adquiriria el vehicle en pista a mesura que vagi avançant el cicle de conducció pre carregat segon a segon fins a la seva finalització..

Finalment es poden recuperar les dades enregistrades.

6.8. Software

El software desenvolupat, com s'ha esmentat anteriorment, té la finalitat de processar el senyal digital provinent del DAQ perquè sigui interpretable pel computador i se'n pugui llegir les velocitats. L'objectiu final d'aquest software és mostrar la velocitat del vehicle en temps real perquè el conductor pugui resseguir un cicle de conducció pre carregat i ajustar-se el màxim possible per estudiar les característiques del vehicle al que s'hi realitza el test. El programa per tant, representa sobre una gràfica temporal Velocitat (km/h) – Temps (s) un cicle emmagatzemat en format .xls i la velocitat a temps real obtinguda del dinamòmetre de xassís. L'eix de les abscisses és variable amb un interval del ± 10 segons i l'eix de les ordenades està acotat entre 0 i 60km/h per facilitar-ne la lectura i la referència de les velocitats.

El programa està escrit sobre un script de Matlab que perquè es posi en funcionament s'ha de prémer la icona de "Run".

En aquest moment es van reproduir les següents ordres seqüencialment::

Primerament es defineix la freqüència a la que es mostrejarà el senyal a la tarja d'àudio provinent del DAQ. Els valors típics superats per les targes de so són 8000, 11025, 22050, 44100, 48000 i 96000 Hz. Matlab té una restricció de mostrejat entre els 1000Hz i els 384000 Hz.

S'ha seleccionat una freqüència de mostreig de 8000 Hz ja que és un valor suportat per a la tarja de so suficientment alt per poder mostrejar correctament el senyal.

```
fs=8000;
```

A continuació es llegeix es procedeix a la lectura del document en format .xls, amb el nom especificat entre cometes, que conté una llista de valors a la primera columna amb la seqüència de velocitats que es desitgin emular. Correspon al cicle de conducció a simular en el vehicle.

```
yy=xlsread('velocidadGPS.xls');
```

A continuació es defineixen els intervals de confiança del cicle determinat anteriorment, generant dues corbes equidistant una distància IC = 5 km/h per sobre i sota del cicle original.

```
yy-sup=yy+10;  
yy-inf=yy-10;
```

Es defineix un vector d'igual longitud que el cicle pre carregat anteriorment, començant pel valor 1 i incrementant una unitat a cada component consecutiva del vector. A aquestes dades se'ls hi dona propietats de segons. D'aquesta manera el computador és capaç de gestionar aquestes dades respectant l'interval de temps que representen, mesurant-les segons el seu rellotge intern.

```
t0=seconds(1:numel(yy));
```

Abans de procedir amb la representació dels elements, es carrega una darrera variable, `fftinfo`. Com s'ha esmentat anteriorment, la velocitat del vehicle es determina a partir de l'harmònic principal de la transformada ràpida de Fourier. Aquest algorisme, que es va optimitzant simulació rere simulació segons les dades que va generant, és bastant lent al principi. Per agilitzar els càlculs inicials, i assegurar-se que l'algorisme es desenvolupa de la forma més eficient, es proporciona uns valors llavors i el mètode que en determini la FFT. Aquests valors s'han obtingut a partir del mètode explicat a l'apartat d'Anàlisi de Fourier. Si s'observa el codi, hi ha dos valors proporcionats en aquesta variable.

Només haurà d'estar descomentatitzat segons la versió de Matlab que s'utilitzi. En el cas de l'ordinador del laboratori de màquines tèrmiques de l'ETSEIB, que utilitza la versió de Matlab 2006b, s'executa la segona opció de la variable. El codi va rebre una actualització els darrers any fent-lo lleugerament més eficient, i s'han enregistrat els valors llavors per si

s'executa amb les versions més recents de Matlab. En qualsevol cas, pel tipus de dades que s'utilitzen, el format i els càlculs, la variació en els temps de resposta és imperceptible.

```
fftinfo
```

El codi segueix amb la inicialització de la figura sobre la qual tindrà lloc el cicle. Al no especificar nombre de figura, si no hi cap altra figura anirà associada a la figura 1. Si hi ha més figures obertes, no les sobreescrirà, sinó que les mantindrà i les associarà a un altre valor. El codi `hold on`, permet anant actualitzant la figura amb el codi que procedeix, en comptes d'anar creant figures independents per a cada representació.

```
figure()
hold on
```

Les línies animades (`animatedline`) són un tipus d'objecte de la llibreria de Matlab que permeten fer representacions dinàmiques de dades. En comptes de plotejar uns valors fixos, com el cas de la funció `plot`, i en cas de necessitar modificar algun valor s'ha de replotejar tota la gràfica; l'objecte `animatedline` permet anar-se modificant al llarg d'una simulació sense haver de plotejar tot el cicle. L'objectiu d'aquest element, és que vagi incorporant les velocitats a temps real que es llegeixen del dinamòmetre en un vector i es vagi mostrant de forma gràfica sobre la figura definida anteriorment.

```
hv=animatedline('Color','c','LineWidth',2);
```

Les dos següents línies de codi següents serveixen per tenir un major control en les propietats de la gràfica. Concretament en els eixos on s'indica que la graella ha d'ésser activada.

```
ax=gca;
ax.YGrid= 'on';
```

A continuació es ploteja sobre la figura els intervals de tolerància definits anteriorment. Per aquest cas es realitza un traçat estàndards i no una línia animada, ja que aquestes valors són constants i coneguts durant tota la simulació fins i fins i tot avanç d'iniciar-la. Ja que son els valors pre carregats del cicle a recrear.

```
plot(datumum(t0(1:1:end)),yysup(1:1:end),'Color',[0.6350 0.0780
0.1840],'LineStyle','--','LineWidth',1)
```

```
plot(datenum(t0(1:1:end)),yyinf(1:1:end),'Color',[0.6350 0.0780  
0.1840],'LineStyle','--','LineWidth',1)
```

Per tenir una referència del temps de duració de la prova, i amb la finalitat d'assignar les velocitats en una escala temporal, es llegeix el temps absolut del rellotge de l'ordinador al moment d'iniciar la lectura de velocitats.

```
tempsInici=datetime('now');
```

També es defineixen les característiques dels mostrejos del senyal que arribaran a la tarja d'àudio de l'ordinador amb l'objecte audiorecorder.

El primer argument, la freqüència de mostreig, ja ha estat definit a l'inici del codi.

El segon argument equival al nombre de bits de la mostra que pot prendre el valor de 8, 16 o 24 bits. En aquest cas s'han utilitzat 8 bits ja que el senyal a llegir no requereix més resolució a la mostra. Augmentar el nombre bits només afectaria negativament al temps de processament de les dades.

El tercer argument correspon al nombre de canals a llegir. Pot valdre 1 (mono) o 2 (estèreo). En el cas del sistema prendrà el valor de 2 ja que arriben dues senyals pel cable de so. Una equival a una senyal proporciona a la velocitat dels rodets i l'altre al parell aplicat. Tot i que en aquest codi només s'analitza la velocitat, s'enregistren les dues dades per a futurs estudis. D'aquesta manera la variable recObj equival a una matriu de dues columnes amb totes les dades enregistrades.

Finalment, el quart argument, defineix el dispositiu encarregat de la lectura de les dades en cas que n'hi hagi més d'un. El valor -1 serveix per indicar que les mostres es prenguin del dispositiu predeterminat del sistema.

```
recObj = audiorecorder(fs, 8, 2, -1);
```

En aquest punt de l'script s'inicia el cicle per començar a enregistrar les dades a temps real de la velocitat. Aquest s'anirà executant tant ràpid com el processador de l'ordinador i les característiques d'enregistrament de senyal ho permetin. Com es pot observar, la duració del mateix és igual a la duració del cicle teòric.

```
while etime(clock, tc) < numel(yy)
```

La primera funció que s'efectua dins del cicle és l'enregistrament del senyal que arriba a la tarja d'àudio des del sistema DAQ. El senyal s'enregistra segons les característiques descrites anteriorment i per un període de 0.4 segons.

Aquest valor es va definir després de diverses proves de simulació i representa un equilibri entre les mostres enregistrades: suficients per a caracteritzar correctament el senyal, però prou baixes com per no augmentar el temps de càlcul excessivament i el temps de duració de la lectura.

Les dades s'emmagatzemen a la variable definida amb l'objecte audiorecorder i les seves característiques.

```
recordblocking(recObj, 0.4);
```

L'objecte audiorecorder, ara amb el mostreig del senyal enregistrat, permet múltiples operacions en diferents llibreries de Matlab. Com que l'objectiu és l'anàlisi d'aquestes dades, s'utilitza la funció getaudiodata per obtenir la matriu amb els valors enregistrats.

```
y= 100.*getaudiodata(recObj);
```

La matriu, es separa en dos vectors, ja que cada una de les columnes equival a un canal d'enregistrament. El primer per a la lectura del parell i el segon per a la lectura de la velocitat.

```
yv=y(:,2);  
yf=y(:,1);
```

Immediatament després de realitzar la lectura del senyal, s'enregistra el temps absolut des del rellotge del computador i es resta al obtingut abans d'iniciar el cicle per obtenir el temps relatiu de la prova a la que s'ha realitzat la lectura corresponent del cicle.

```
t=datetime('now')-tempsInici;
```

Es determina la dimensió de la mostra.

```
n=length(yv); %8000*0.4
```


S'aplica l'algorisme de la transformada ràpida de Fourier per obtenir la transformada discreta de Fourier del vector de mostres previ obtenir l'espectre de freqüències.

```
fourier=fft(yv);
```

Com que l'espectre és simètric només és necessari analitzar la meitat del rang.

```
fourier=fourier(1:n/2);
```

Per a conèixer quina és la pulsació principal del senyal mostrejat es calcula la potencia en valor absolut de cada valor del rang de freqüències.

```
frp=(abs(fourier).^2)/n;
```

I el rang de freqüències:

```
f=(0:n/2-1)*(fs/n);
```

A continuació s'extreu el valor màxim del conjunt de potències del senyal determinat anteriorment:

```
[Z,I]=max(frp);
```

I se'n determina la freqüència corresponent:

```
frecuencia=f(I);
```

Al tractar-se d'una ona quadrada, sempre hi haurà un harmònic que predominarà molt respecte la resta. Ja que tot i que per reproduir una ona completament quadrada a partir de la transformada de Fourier es necessiten infinits harmònics, amb només el principal es pot obtenir una ona sinusoidal equivalent en freqüència.

A continuació s'aplica un factor de conversió per a obtenir l'equivalència entre la velocitat dels rodets i la freqüència de la senyal mostrejada i caracteritzada amb la transformada discreta de Fourier.

Aquest valor es va determinar experimentalment amb l'ajuda d'un lector de velocitats que incorpora el DAQ. Es va observar que la relació entre velocitat dels rodets i la freqüència del senyal era proporcional. A partir de diverses mesures experimentals es va obtenir el valor concret de l'ajust.

```
velocitat=frequencia*10/295
```

Una vegada determinada la velocitat instantània del vehicle per un cycle determinat s'empra la funció de Matlab `addpoints` per afegir aquest valor al vector de valors de la corba de velocitats real. El primer argument determina l'objecte al que s'assignaran que correspon al definit a l'inici del cycle. El segon o tercer argument corresponen a les coordenades de l'eix de les abscisses i de les ordenades respectivament. Les ordenades corresponen a la velocitat en km/h i les abscisses al temps relatiu de duració de la prova per poder realitzar una representació seqüencial dels valors.

```
addpoints(hv, datenum(t), velocitat)
```

Finalment, s'actualitzen els eixos per facilitar la visualització de les dades.

L'eix de les ordenades pren un valor constant amb valors llindar de [0 i 60] km/h. És necessari definir aquest paràmetre ja que per defecte Matlab ajusta els eixos per incloure la representació de totes les dades.

Si es fessin variar els límits d'aquest eix seria més difícil la interpretació de les dades ja que es perdria la referència dels valors. Per altra banda, si les velocitats divergissin molt del cycle de conducció teòric, se'n podria perdre el seguiment.

L'eix de les abscisses, es va actualitzant a cada instant de temps de forma que es pugui visualitzar una finestra de 30 segons. Actualitzar aquests eixos permet enfocar-se més en l'instant actual del cycle.

```
ax.XLim=datenum([t-seconds(10), t+seconds(10)]);
```

```
datetick('x', 'MM:SS', 'keeplimits')
```

```
ax.YLim = [0, 60];
```

Finalment la funció `drawnow` actualitza els traçats de forma que queden representats a la figura inicial.

```
drawnow
```

Amb aquesta funció finalitza el cicle de lectura i interpretació de les senyals del DAQ per representar la velocitat a temps real.

```
end
```

Aquest cicle es repeteix a la major velocitat possible segons la capacitat de processament del computador per tal d'actualitzar la corba de velocitats la major quantitat de vegades possible per obtenir una bona resolució del cicle. S'interromp la simulació quan s'arriba al final del cicle teòric.

A continuació es desactiva l'edició de de la figura per no introduir-hi errors manipulant les dades.

```
hold off
```

Abans de finalitzar l'script, es recullen i emmagatzemen les dades corresponents als temps i velocitats per poder estudiar i enregistrar el cicle real traçat i representar-lo.

```
[vt,ve] = getpoints(hv);
```

Software de post procés

El post procés consisteix en la representació del cicle real traçat en comparació amb els intervals de tolerància del cicle a emular.

```
figure ()
hold on
plot(vt-vt(1),ve)
plot(denum(t0(1:1:end)),yy(1:1:end),'Color',[0.6350 0.0780
0.1840],'LineStyle','--','LineWidth',1)
```

```
xlabel('temps (sec)')  
datetick('x','MM:SS')  
ylabel('Velocitat (km/h)')  
hold off
```

Anàlisi de Fourier

La transformada de Fourier aplicada sobre el vector de mostres de la senyal provinent del DAQ que informa de la velocitat dels rodets proporciona l'espectre de freqüències en les que es descomposta. De totes aquestes finalment s'escull la freqüència de més densitat energètica.

Concretament es calcula la transformada ràpida de Fourier (FFT) a partir d'un algorisme optimitzat per a aquesta finalitat i inclòs a la llibreria de codi obert FFTW desenvolupada al MIT per Matteo Frigo i Steven G. Johnson [7].

L'algorisme calcula de forma molt eficient la transformada discreta de Fourier (DFT) en una o més dimensions d'una matriu arbitrària de nombre reals o complexos.

Per tal de facilitar el càlcul de la transformada discreta Fourier (DFT), es pre calcula un algorisme en funció de característiques de les dades com la mida i la tipologia. Aquest càlcul permet optimitzar la resolució de la DFT i reduir-ne el temps de còmput dràsticament.

Per obtenir aquest algorisme s'ha utilitzat la funció de Matlab fftw. Existeixen diversos mètode per optimitzar la DFT.

- Estimate. Determina el millor algorisme de DFT basant-se en les dimensions de la matriu
- Measure. Determina el millor algoritme DFT a base de calcular temps de còmput per a diferents transformades.
- Patient. Actua igual que measure però per un rang de test més gran. Obté un resultat millor però més temps de càlculs.
- Exhaustive. Executa tots els tests possibles, inclosos aquells que aparentment resulten no ser òptims, per trobar el millor algorisme de càlcul però amb un temps de computació molt elevat.
- Hybrid. Utilitza una combinació de measure i estimate.

En aquest cas, com que les dades no eren de gran complexitat i es podien obtenir resultats en un temps de còmput més o menys raonables s'ha utilitzat l'argument exhaustiu.

Abans de començar el cicle de càlcul de velocitats reals es pre carrega l'algorisme com a valor llavor que s'anirà optimitzant segons les dades recollides.

6.9. Post-procés

El post procés de la simulació dels cicles de conducció consisteix en la anàlisi dels resultats obtinguts. El software desenvolupat per al post - processat dels cicles permet realitzar aquesta tasca.

Un bon indicador per a determinar si la conducció s'ha ajustat correctament al cicle desitjat és calcular el nombre de vegades que s'han sobrepassat els límits de toleràncies.

Una altra manera de realitzar l'anàlisi dels resultats és determinar la proporció de temps que les velocitat s'han situat fora de l'interval de toleràncies. El cicle hauria de quedar invalidat si la proporció és superior a un determinat percentatge en funció de l'exigència del test.

6.10. Software d'estudi

S'adjunta també un software d'estudi per emmagatzemar totes les matrius de freqüències i de velocitats de la simulació per a realitzar comprovacions i millores.

La matriu Y conté totes les mostres del senyal freqüencial del DAQ que s'han enregistrat a cada iteració del cicle.

La matriu B conté tots els registres de freqüències determinades segons la transformada ràpida de Fourier.

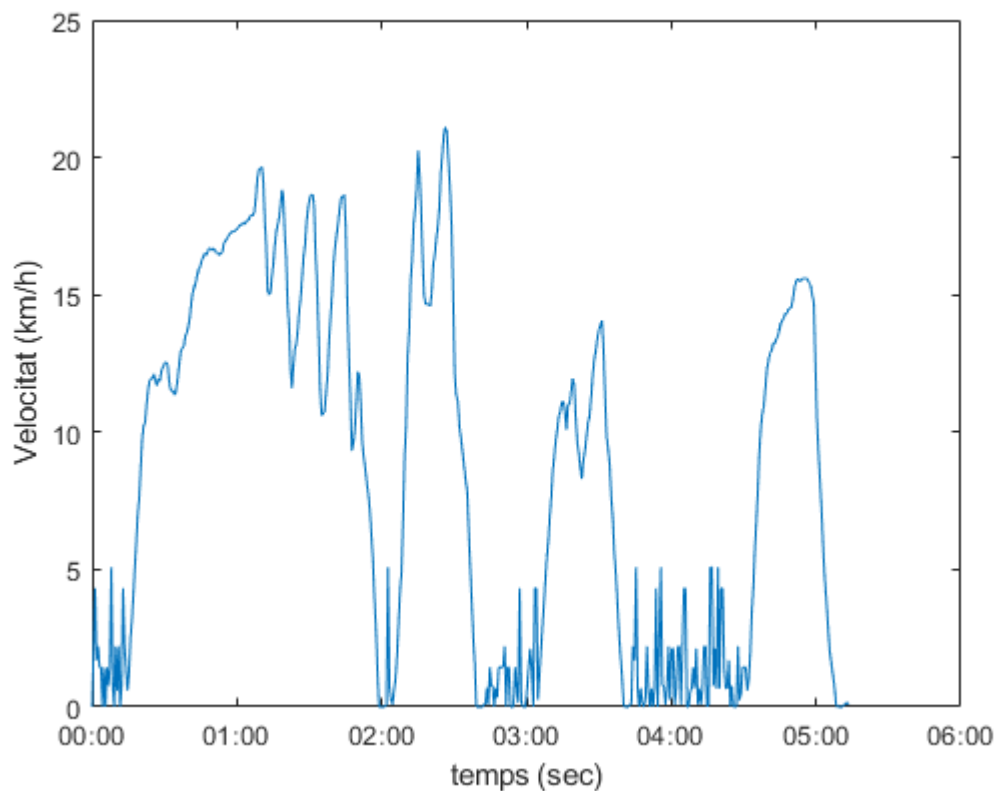
La matriu T conté tots els registres del temps associats a les freqüències de la matriu B

7. Desenvolupament d'un cicle de referència al laboratori

Amb l'objectiu de comprovar l'efectivitat del cicle i fer-ne una demostració pràctica s'ha aplicat la operativa descrita a l'apartat de Procediments d'operació però sense un cicle de conducció de referència.

S'ha anat descrivint un traçat arbitrari amb velocitats i acceleracions variades durant un període d'aproximadament 5 minuts. Evidentment, aquest cicle de conducció no es representatiu de cap condició real i el seu únic objectiu és calibrar i testejar el conjunt de sistema i software.

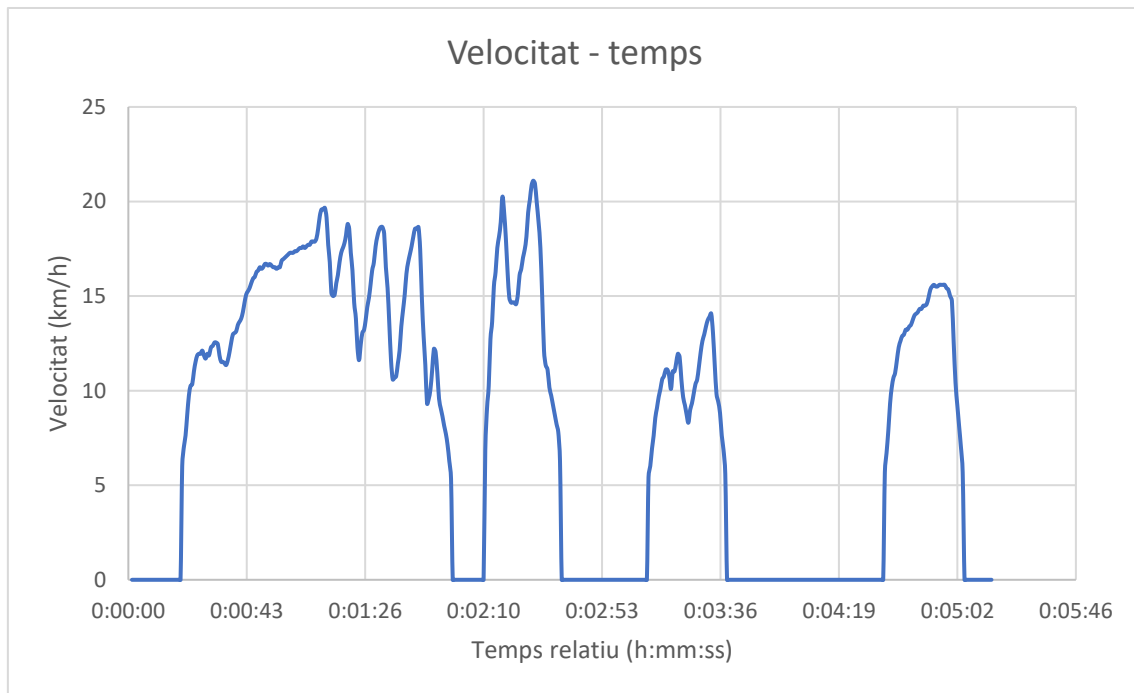
Del resultat de l'exercici l'anterior es va obtenir el següent cicle de conducció:



Imatge 15. Gràfica extreta de Matlab d'un cicle de conducció simulat al laboratori. Font pròpia.

Com s'observa existeix una gran quantitat de soroll per a velocitat inferiors als 5,1 km/h. Els dispositius de mesura no són capaços de proporcionar una tensió representativa per sota d'aquest valor.

Després del post procés del cicle en el que es van eliminar les velocitats inferiors als 5.1 km/h s'obté el següent cicle:



Imatge 16. Gràfica amb el senyal processat. Font pròpia.

També amb aquest motiu es va afegir una línia de codi a l'script per efectuar un filtratge de la velocitat de forma que sigui igual a zero si és inferior a 5,1 km/h.

8. Avaluació mediambiental

És important tenir una consideració especial a l'impacte mediambiental que tenen els projectes, per conèixer un ordre de magnitud de les conseqüències i de les afectacions que podent tenir a l'entorn i a la salut de les persones. I si escau, aplicar mesures específiques de control d'aquest factors.

8.1. Emissions vehicles

En aquest cas s'utilitzen vehicles de combustió interna que emeten gasos d'efecte hivernacle i contaminants com Òxids de Nitrogen (NO_x), Carbó Negre (BC), Monòxids de Carboni (CO), Partícules $\text{PM}_{2,5}$ i PM_{10} (Particulate Matter) i Plom (Pb).

És important realitzar controls de les emissions dels vehicles de combustió per controlar l'impacte que tenen sobre el medi. Per exemple, homologar els vehicles a través de cicles de conducció descrits en aquest projecte com el WLTC ajuden en aquesta tasca.

Al laboratori de Màquines Tèrmiques de l'ETSEIB. Es disposa d'un equip d'extracció de gasos d'escapament per mantenir els nivells de pol·lució per sota de límits segurs en el laboratori.



Imatge 17. Sistema d'extracció dels gasos provinents de la combustió. Font pròpia.

És evident que s'han d'anar reduint cada vegada més l'ús de combustibles fòssils com a font d'energia. No obstant, encara continuen sent el principal recurs per obtenir energia sobretot en l'àmbit del transport. És per això que la recerca ha de seguir en aquesta direcció, i proporcionar informació.

En aquesta línia s'adjunta a l'ANNEX I un document amb els objectius d'emissions de la UE per als propers anys. La taula d'objectius, tant del parc de vehicles totals, com específics de cada fabricant poden servir de referència quan s'emulen els cicles de conducció i se'n llegeixen les emissions.

8.2. Reciclatge dels aparells electrònics

Per altra banda, tots els dispositius elèctric i electrònics que s'han utilitzat en el projecte han de ser reciclats quan acaben la seva vida útil. Els rodets de banc i el suport, fabricats en acer, són altament reciclables. Els aparells elèctrics i sensors emprats han de ser desballestats per classificar-ne els materials i reciclar-los individualment.

Finalment, els dispositius electrònics com el DAQ o els ordinadors, al final de la seva vida útil, han de ser portats a deixalleria per poder-los classificar i recuperar la major part possible de materials i eliminar la resta adequadament.

Per acabar, és important fer un ús responsable dels productes contaminants, com els combustibles, olis i altres líquids com refrigerants, evitant el seu vessament i manipular-los adequadament.

9. Avaluació econòmica

A continuació es descriuran els costos associats al desenvolupament del projecte. Es categoritzen en tres tipologies: costos de material, costos d'equips emprats i hores de treball de l'enginyer.

Costos de material

Equip	Quantitat	Cost	Preu
Ordinador personal	1	700 €/u	3,42 € *
Gasolina emprada	5 litres	1,3 €/l	6,5 €
Total			9,92 €

Taula 2. Estimació econòmica del material emprat.

* Estimant 7 anys de vida útil i un ús de 300h per a l'elaboració i desenvolupament del projecte.

Costos d'equip

Cal desatacar que els equips emprats en aquest projecte no són nous sinó que formen part de l'inventari del Laboratori de Màquines Tèrmiques de l'ETSEIB. Si més no, es farà una estimació dels costos del material per si es desitja començar a desenvolupar un projecte similar. Els models concrets emprats durant les simulacions de la pràctica ja estan descatalogats.

Equip	Model	Cost
Dinamòmetre	Shenc 364mm	20.000 €
DAQ	API com MP2030	1.000 €
PC	W. XP Pentium IV 2GB RAM	800 €
Buggy		2.500 €
Total		24.300 €

Taula 3. Estimació econòmica dels equips emprats.

Treball de desenvolupament de l'enginyer

Respecte a les hores de treball de l'enginyer pel desenvolupament del projecte, s'han estimat en l'equivalent als 12 crèdits ETCS del Treball de Final de Grau, equivalent a 360h.

Feina	Hores	Cost (€ / h)	Cost total (€)
Recerca i estudi pre-eliminar	240	25	6.000
Desenvolupament del software	100	25	2.500
Test	20	25	500
Total	360	25	9.000

Taula 4. Estimació econòmica de la feina de l'enginyer.

Amb les estimacions realitzades anteriorment s'obté un cost total del projecte de 33.309,92 €.

Conclusions

El treball ha ofert un estudi complet sobre els cicles de conducció i la seva implementació en un banc de rodets o dinamomètric.

D'aquesta forma, aquest document conté dues parts ben diferenciades però que, conjuntament, han permès al lector comprendre millor l'estat de l'art de les simulacions de cicles de conducció. Per una banda, amb un recull bibliogràfic sobre el disseny i implementació de les emulacions en un laboratori, i per altra banda, amb una guia descriptiva i d'aplicació d'un cas pràctic consistent en el condicionament del banc de rodets del Laboratori de Màquines Tèrmiques de l'ETSEIB.

Pel primer cas, s'han pogut conèixer els factors que s'han de tenir en compte a l'hora de simular cicles de conducció en un banc dinamomètric i els procediments adequats per a generar-los, que serà de gran utilitzat quan es desitgi realitzar una simulació significativa.

Per altra banda, el treball deixa al seu pas una eina funcional que, sens dubte, aportarà molt valor al Departament, en l'àmbit de la recerca.

S'ha comprovat com la Transformada de Fourier aplicada amb l'algorisme de la transformada ràpida de Fourier, permet analitzar senyals amb un temps de càlcul ínfim. Així com la versatilitat del software Matlab emprat durant el grau.

Qui reculli el relleu d'aquest projecte pot estendre l'estudi cinemàtic, del banc de rodets actual, a nivell dinàmic. Es poden analitzar els moments que el vehicle exerceix sobre el banc de rodets i interpretar-los per obtenir informació més extensa del comportament del vehicle de test. D'aquesta manera també es podran obtenir els coeficients de càrrega del vehicle en carretera mitjançant una prova de desacceleració (coastdown) i, posteriorment, simular les forces corresponents, com són la resistència al rodolament dels pneumàtics o la força de drag aerodinàmica, que es produirien si el vehicle circulés en pista, amb la finalitat d'obtenir una eina de simulació molt més acurada.

Agraïments

En primer lloc m'agradaria agrair el temps i el suport proporcionat pel meu tutor del Treball de Final de Grau, Jesús Álvarez, ja que sense les seves idees i la seva dedicació en el projecte, aquest no hauria estat possible.

En segon lloc, m'agradaria agrair el suport incondicional de la meva família durant aquest temps. A la meva mare, Francesca, i al meu pare, Jacob, que sempre han estat al meu costat. I als meus germans, per tant.

Finalment a totes aquelles persones que durant aquest camí m'han brindat altruïstament la seva ajuda.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] **Pérez Llanos Pablo Santiago, Quito Sinchi Christian Oswaldo.** Determinación de los ciclos de conducción de un vehículo categoría M1 para la Ciudad de Cuenca. Recurs disponible a <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15032/1/UPS-CT007421.pdf>.
- [2] **T. J. Barlow, S Latham, I. S. McCrae, P. G. Boulter.** A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions. Recurs disponible a https://trl.co.uk/sites/default/files/PPR354_new.pdf
- [3] **Galgamuwa, U., Perera, L. and Bandara, S.** (2015) Developing a General Methodology for Driving Cycle Construction: Comparison of Various Established Driving Cycles in the World to Propose a General Approach. Journal of Transportation Technologies, 5, 191-203. <http://dx.doi.org/10.4236/jts.2015.54018>
- [4] **Zhang Xio, Zhao Dui-Jia, Shen Jun-Min.** 2012. A Synthesis of Methodologies and Practices for Developing Driving Cycles. ELSEVIER.
- [5] **Monica Tutuianu, Alessandro Marotta, Heinz Steven, Eva Ericsson, Takahiro Haniu, Noriyuki Ichikawa, Hajime Ishii.** 2013. Developement of a World-wide Worldwide harmonized Light duty driving Test Cycle (WLTC). Recurs disponible a <http://unece.org>
- [6] **Iddo Riemersma, Heinz Steven.** Developement of a World-wide Worldwide harmonised Light duty driving Test Procedure (WLTP). 2013. Recurs disponible a <http://unece.org>
- [7] **Mathworks.** Fftw. Recurs disponible a <https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/fftw.html>

Bibliografia complementària

- [8] Wikipedia. New European Driving Cycle. Recurs disponible a https://es.wikipedia.org/wiki/New_European_Driving_Cycle
- [9] Wikipedia. WLTP. Recurs disponible a <https://es.wikipedia.org/wiki/WLTP>
- [10] ACEA. WLTP Facts. Recurs disponible a <https://wltpfacts.eu/>
- [11] Wikipedia. COPERT. Recurs disponible a <https://en.wikipedia.org/wiki/COPERT>
- [12] Wikipedia. Dynamometer. Recurs disponible a <https://en.wikipedia.org/wiki/Dynamometer>
- [13] Wikipedia. Chassis dynamometer. Recurs disponible a https://en.wikipedia.org/wiki/Chassis_dynamometer
- [14] Mathworks. Fft. Recurs disponible a <https://es.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html>
- [15] Matworks. Análisis espectral básico. Recurs disponible a <https://es.mathworks.com/help/matlab/math/basic-spectral-analysis.html>
- [16] FFTW. Matteo Frigo, Steven G. Johnson. FFTW. Recurs disponible a <http://www.fftw.org/>